

**ANÁLISIS TÉCNICO DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES  
URBANAS EN EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE  
ALCANTARILLADO**

**JOHANNA CARABALLO SANDOVAL**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
Facultad de Ciencias Ambientales  
Especialización en Gestión Ambiental Urbana**

**Bogotá D.C., Julio de 2015**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**Facultad de Ciencias Ambientales  
Especialización en Gestión Ambiental Urbana**

**ANÁLISIS TÉCNICO DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES  
URBANAS AMBIENTALES EN EL SERVICIO PÚBLICO  
DOMICILIARIO DE ALCANTARILLADO**

**JOHANNA CARABALLO SANDOVAL**

**Director**

**BIBIAN XIMENA GARCIA**

Monografía presentada como requisito para la obtención del título de  
Especialista en Gestión Ambiental Urbana

Bogotá D.C., Julio de 2015

**Universidad Piloto de Colombia**

**Facultad de Ciencias Ambientales – Especialización en Gestión Ambiental Urbana**

**HOJA DE APROBACIÓN**

**ANÁLISIS TÉCNICO DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES  
URBANAS EN EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE  
ALCANTARILLADO**

**JOHANNA CARABALLO SANDOVAL**

Nombre, Título académico  
Director del proyecto de grado \_\_\_\_\_

Nombre, Título académico  
Co-Director del proyecto de grado \_\_\_\_\_

Nombre, Título académico  
Miembro del Jurado \_\_\_\_\_

Nombre, Título académico  
Miembro del Jurado \_\_\_\_\_

Nombre, Título académico  
Decano \_\_\_\_\_

**Bogotá D.C., Julio de 2015**

### © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad Piloto de Colombia (UPC) y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la UPC para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual.

Nombre: \_\_\_\_\_

C. C.: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

C. C.: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

Fecha:

\_\_\_\_\_

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
3.1 SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS .....	14
3.1.1 SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO .....	14
Características físicas y químicas de las aguas residuales .....	16
Clasificación de las aguas residuales .....	16
3.2.4.1 Aguas residuales domesticas .....	16
3.3.1 Alcantarillado Sanitario .....	17
3.3.2 Alcantarillado Pluvial .....	17
3.4.1 Recolección.....	20
<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.....</b>	<b>22</b>
Pozos de inspección .....	22
Cámara de caída.....	23
Aliviaderos.....	24
Sifón invertido .....	26
3.5.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR .....	27
3.5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO .....	28
3.5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	29
<b>3.6 Marco Conceptual.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Marco Contextual.....</b>	<b>32</b>
<b>3.8 Marco Jurídico .....</b>	<b>33</b>
<b>METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>35</b>
<b>4. IDENTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS O PRODUCTOS EN LAS ETAPAS DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO .....</b>	<b>36</b>
4.1 Etapa de recolección y transporte .....	36
4.2 Etapa de tratamiento de aguas residuales .....	37
4.3 Disposición final de aguas residuales .....	40

<b>5. PRÁCTICAS AMBIENTALES EN EL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO .....</b>	<b>42</b>
<b>6. DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS AMBIENTALES EN EL CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL .....</b>	<b>58</b>
6.1.1 PTAR EL SALITRE .....	58
6.1.2PTAR SAN FERNANDO .....	61
6.3.1 PTAR ATOTONILCO, TULA, MÉXICO. ....	62
6.3.2 Singapur .....	65
6.3.3 PTAR- PORTINHO DA COSTA-PORTUGAL .....	67
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>71</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1.Legislación aplicable para las diferentes temáticas del proyecto .....	34
Tabla 4-1. Composición del Biogás .....	38
Tabla 4-2. Características de los lodos urbanos.....	39
Tabla 4-3. Subproductos y productos generados en el sistema de alcantarillado.....	41
Tabla 6-1. Datos Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre .....	58
Tabla 6-2. BPA-Planta de tratamiento el Salitre .....	59
Tabla 6-3. Datos planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando .....	61
Tabla 6-4. BPA-Planta San Fernando .....	62
Tabla 6-5. Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco.....	62
Tabla 6-6. BPA-PTAR Atotonilco.....	64
Tabla 6-7. BPA-PTAR SINGAPUR .....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Ciclo de saneamiento -Fuente: <i>El ciclo de la Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible. Fuente: SEECON (2010). Tomado de <a href="http://www.sswm.info/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%C3%B3n-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-4">http://www.sswm.info/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%C3%B3n-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-4</a></i> .....	19
Figura 3-2. Descarga domiciliaria con tubería de PVC .....	21
Figura 3-3. Brocal.....	22
Figura 3-4. Pozos de inspección .....	23
Figura 3-5. Cámaras de caída.....	24
Figura 3-6. Sumideros .....	25
Figura 3-7. Sifón Invertido .....	26
Figura 3-8. Proporción de la población que cuenta con servicio de saneamiento básico .....	32
Figura 3-9. Coberturas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en Colombia .....	33
Figura 4-1. Esquema típico del tratamiento de aguas residuales .....	38
Figura 4-2. Producción de lodos primarios y secundarios .....	39
Figura 5-1. Espesadores de lodo por gravedad y por flotación.....	45
Figura 5-2. Digestor Anaerobio para la estabilización de lodos .....	46
Figura 5-3. Esquema tratamiento de lodos.....	46
Figura 5-4. BPA en el sistema de alcantarillado.....	57
Figura 6-1. Esquema PTAR San Fernando .....	61
Figura 6-2. Esquema de Planta de tratamiento Atotonilco.....	63
Figura 6-3. Obtención y aprovechamiento del biogás para la producción de energía eléctrica .....	63
Figura 6-4. Esquema del proceso planta de tratamiento de aguas de PORTINHO DA COSTA .....	68



## INTRODUCCIÓN

Las buenas prácticas ambientales son un conjunto de acciones o medidas que pretenden reducir el impacto ambiental de origen negativo, causado básicamente por los procesos productivos a través de cambios en la organización de los procesos y actividades<sup>1</sup>, permitiendo de este modo mejorar su comportamiento ambiental, con base en la precaución, cultura ambiental y utilización de tecnologías respetuosas con el medio ambiente. (RIGOLA, 1998).

En relación con lo anterior, actualmente son muchas las empresas o instituciones que han realizado la implementación de buenas prácticas ambientales, por medio de la ejecución de sencillas actividades que han conducido a un uso eficiente de los recursos naturales; reduciendo así el impacto negativo y ahorrando costos.

Para el desarrollo de este documento se consideró el servicio público domiciliario de alcantarillado como proceso a evaluar, debido a que hace parte del saneamiento básico, que consiste básicamente en la eliminación de las excretas y aguas residuales y de esta forma tener un ambiente limpio y sano; el acceso al saneamiento comprende seguridad y privacidad en el uso de estos servicios, de tal forma que se encuentra directamente relacionado con la calidad de vida, salud de las personas y el cuidado del medio ambiente.<sup>2</sup>

Este trabajo aborda el análisis técnico de las buenas prácticas ambientales urbanas utilizadas en el servicio público de alcantarillado; en primera instancia describe los procesos que contempla dicho servicio público para brindar su prestación a la comunidad, de igual forma identifica los subproductos y productos generados por dichos procesos durante la prestación del servicio que comprende las etapas de recolección municipal de los residuos líquidos, por medio de tuberías y conductos, hasta las

---

<sup>1</sup> <http://www.lineaverdeceutatrace.com>

<sup>2</sup> <http://www.who.int/campaigns/world-health-day/2015/event/es/>

actividades complementarias de transporte, tratamiento (primario y secundario, para el caso de esta propuesta) y disposición final de tales residuos.<sup>3</sup>

El presente trabajo contiene tres capítulos importantes, el primero el desarrollo del marco teórico, el segundo el desarrollo de cada objetivo específico planteado, y el último capítulo que corresponde a las conclusiones y recomendaciones del estudio.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente este estudio constituye una oportunidad de revisar e indagar la aplicación de buenas prácticas ambientales urbanas en un contexto importante del saneamiento básico, con miras a minimizar el impacto negativo, la protección del medio ambiente, y fomentar la sostenibilidad.

---

<sup>3</sup> Artículo 14 numeral 14.23 de la Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios.

## **Justificación**

Es importante identificar que en todos los procesos productivos, a parte de la obtención de un producto final también son generados diferentes tipos de subproductos o residuos, tal como ocurre en la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado.

De igual forma la utilización de recursos naturales para la obtención de servicios ambientales y la inadecuada disposición de residuos, pueden llegar a producir impactos ambientales que afectan el entorno y contribuyen al agotamiento de dichos recursos disminuyendo su oferta.

Es importante conocer que si bien la prestación de este servicio reduce como tal el riesgo de enfermedades en la comunidad y suple una necesidad básica, también por otro lado puede generar impactos derivados de sus actividades que pueden llegar a convertirse en problemas ambientales significativos, pues la inadecuada disposición de residuos y la contaminación, entre otros factores, aumentan el deterioro del medio ambiente.

De conformidad con lo anterior, este trabajo constituye la oportunidad de identificar cuáles son los subproductos o residuos generados en cada una de las etapas del servicio público de alcantarillado lo cual permitirá a su vez describir la gestión que pueden recibir en cuanto a su manejo y posibles usos, con el fin de reducir el impacto ambiental que dichos procesos pueden llegar a ocasionar de manera que se realicen prácticas más respetuosas hacia el medio ambiente.

El desarrollo de este trabajo hará una aproximación a las prácticas ambientales utilizadas o a utilizarse en este sector y que pueden servir como herramienta para mejorar el espacio donde se realicen; asimismo se considera que el desarrollo de esta temática es un aporte a la comunidad y a las empresas prestadoras de este servicio y al medio ambiente, debido a que conociendo bien sobre el tema se pueden proponer prácticas ambientales relacionadas con cada uno de los procesos involucrados y minimizar el impacto.

Se considera importante realizar este trabajo para que se conozca cómo son gestionados los subproductos en este sector y cuál es la mejor forma de manejarlos mediante las buenas prácticas ambientales.

**Formulación de la pregunta**

¿Cuáles son las acciones que pueden considerarse buenas prácticas ambientales utilizadas para el manejo de los subproductos y productos derivados de las actividades inherentes a la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar técnicamente la aplicación de prácticas ambientales urbanas en la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado en las etapas de transporte, tratamiento (primario y secundario) y disposición final de tales residuos.

### **2.2 Objetivo Específicos**

- Identificar cuáles son los subproductos o productos generados en cada etapa o actividad complementaria del servicio público domiciliario de alcantarillado
- Revisar e indagar qué prácticas ambientales pueden ser utilizadas en este sector.
- Describir la aplicación de las buenas prácticas ambientales en la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado en municipios colombianos y en experiencias internacionales.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS**

Según CEPAL 2010, “se considera servicio público domiciliario a todo aquel que es recibido en el lugar de residencia de las personas o empresas satisfaciendo una necesidad básica de cualquier comunidad a donde este llegue”.

Los servicios públicos domiciliarios se consideran de vital importancia, pues contribuyen a tener una mejor calidad de vida en cuanto a saneamiento básico se refiere, por lo cual deben suministrarse bajo una adecuada prestación y cobertura, así como a la mayor cantidad de población posible. (Departamento Administrativo Nacional Estadístico (DANE, 2011)).

##### **3.1.1 SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO**

De acuerdo a la Ley 142 de 1994, se define servicio público domiciliario de alcantarillado como la *“recolección municipal de residuos, principalmente líquidos la cual es realizada por medio de tuberías y conductos hasta las actividades*

*“La actividad complementaria de un servicio público hace referencia a las actividades que se aplican en la Ley, cuando en esta ley se mencionen los servicios públicos, sin hacer precisión especial, se entienden incluidas tales actividades”.*

En sí los sistemas de alcantarillado se encuentran compuestos de una serie de obras complementarias que permiten la recolección, conducción y evacuación final de las aguas residuales y escurrimientos superficiales producidos por las lluvias cuando se habla de alcantarillado pluvial.

A continuación se hará una descripción de las características fisicoquímicas y biológicas que hacen que un agua sea catalogada como residual y por lo cual debe ser manejada

correctamente en cualquier población urbana. La legislación Colombiana ha reglamentado el servicio público de alcantarillado con la siguiente normativa:

La Constitución Política de 1991, en su artículo 365 establece que *“los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional”, lo cual debe hacerse mediante una prestación directa, por comunidades organizadas o por particulares; el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia”* (Cundinamarca).

### **3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Todas las actividades habituales en la comunidad o en cualquier empresa, son generadoras de aguas residuales domésticas, las cuales deben ser conducidas a una planta de tratamiento para realizar su evacuación y posterior tratamiento, con el fin de reducir sus características contaminantes.

Las aguas residuales presentan diversas características físicas químicas y biológicas especiales sobre las otras aguas, las cuales son necesarias comprender para optimizar su manejo en cuanto a recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Las características de estas aguas cambian dependiendo de su procedencia es decir, si son aguas residuales de tipo doméstico o de origen industrial, por lo cual no es posible utilizar el mismo sistema de tratamiento para estos residuos con la misma eficiencia, los sistemas de tratamiento se deben utilizar de acuerdo con el contenido de materia orgánica, sólidos, nitrógeno y fosforo presente en el agua. La disposición de aguas residuales en cuerpos de agua superficial sin ningún tipo de tratamiento, contribuye al aumento de concentraciones de nutrientes que fertilizan las aguas y demanda oxígeno para la oxidación, lo cual deteriora la calidad del agua receptora, resultando menos aptas para usos benéficos y produciendo daños sobre los ecosistemas presentes. (Clasificación de aguas negras, 2003)

## **Características físicas y químicas de las aguas residuales**

Las características físicas corresponden al contenido total de sólidos, que comprende la materia flotante, materia en suspensión material coloidal y en solución, temperatura, color, olor, turbiedad que es medible pero negativo ecológicamente. En cuanto a las características químicas del agua residual, se encuentran elementos como la materia orgánica, cuya estructura está compuesta por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno, así como elementos como el azufre, fosforo y hierro que también está con frecuencia en esta clase de aguas. (Clasificación de aguas negras, 2003)

Pueden también estar compuestas por diferentes sustancias orgánicas como son

Proteínas (40 a 60%)

Carbohidratos (25 a 50%)

Aceites y grasas (10%)

Las aguas residuales también contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, la presencia de estas sustancias en los últimos años, han ocasionado un problema para los sistemas de tratamiento, puesto que gran parte de estos materiales no son biodegradables, entre estos compuestos se encuentran los siguientes:

Arenas: son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica, enturbian las masas de agua cuando están en movimiento. (Clasificación de aguas negras, 2003)

Clasificación de las aguas residuales

### **3.2.4.1 Aguas residuales domésticas**

Corresponde aquellas aguas provenientes de inodoros, duchas, cocinas y en general las que vienen de casas y empresas; se encuentran constituidas por sólidos suspendidos ( generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables nutrientes ( fosforo y nitrógeno) y organismos de origen patógeno.



### **3.2.4.2 Aguas residuales industriales**

Son las que provienen de la realización de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes citados anteriormente, elementos tóxicos tales como plomo, mercurio, níquel, cobre y otros, que requieren ser removidos en vez de ser vertidos al sistema de alcantarillado.” (Ingeniería Civil, 2010)

### **3.2.4.3 Aguas Pluviales**

Corresponde a las aguas captadas principalmente del escurrimiento superficial de las aguas lluvias que fluyen a través de los techos, pavimentos y otras superficies del terreno. (Clasificación de aguas negras, 2003)

## **3.3 SISTEMAS DE ALCANTARILLADO**

En los últimos años se optó por separar las aguas residuales de las aguas lluvias, por diferentes aspectos técnicos y de diseño, en alcantarillado sanitario y pluvial o un sistema combinado.

### **3.3.1 Alcantarillado Sanitario**

Corresponde a una red, compuesta por tuberías mediante la cual se evacua todas las aguas residuales de origen doméstico que son trasladadas a una planta de tratamiento, para finalmente ser vertidas a un sitio de disposición final. (Criterios y Lineamientos Técnicos para factibilidades -Alcantarillado Sanitario, 2010)

### **3.3.2 Alcantarillado Pluvial**

El sistema de alcantarillado pluvial capta y conduce, las aguas lluvias para su disposición final a cauces naturales. El sistema de alcantarillado combinado, capta y conduce el 100% de las aguas domésticas y las aguas lluvias y por sus características técnicas dificulta su tratamiento posterior.

*“La prioridad fundamental en cualquier desarrollo urbano es el abastecimiento de agua potable, pero una vez satisfecha esa necesidad se presenta el problema del desalojo de las aguas residuales. Por lo tanto se requiere la construcción de un sistema de*

*alcantarillado sanitario para eliminar las aguas residuales que producen los habitantes de una zona urbana incluyendo al comercio y a la industria” Un sistema de alcantarillado está integrado por todos ó algunos de los siguientes elementos: atarjeas, subcolectores, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias. El destino final de las aguas residuales podrá ser desde un cuerpo receptor hasta el reusó dependiendo del tratamiento que se realice y de las condiciones particulares de la zona de estudio. (Criterios y Lineamientos Técnicos para factibilidades -Alcantarillado Sanitario, 2010).*

### **3.4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

De acuerdo con el RAS 2000, los alcantarillados convencionales son sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final. Los tipos de sistemas convencionales son el alcantarillado combinado y el alcantarillado separado. En el primero, tanto las aguas residuales como las pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema, mientras que en el tipo separado esto se hace mediante sistemas independientes; es decir, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

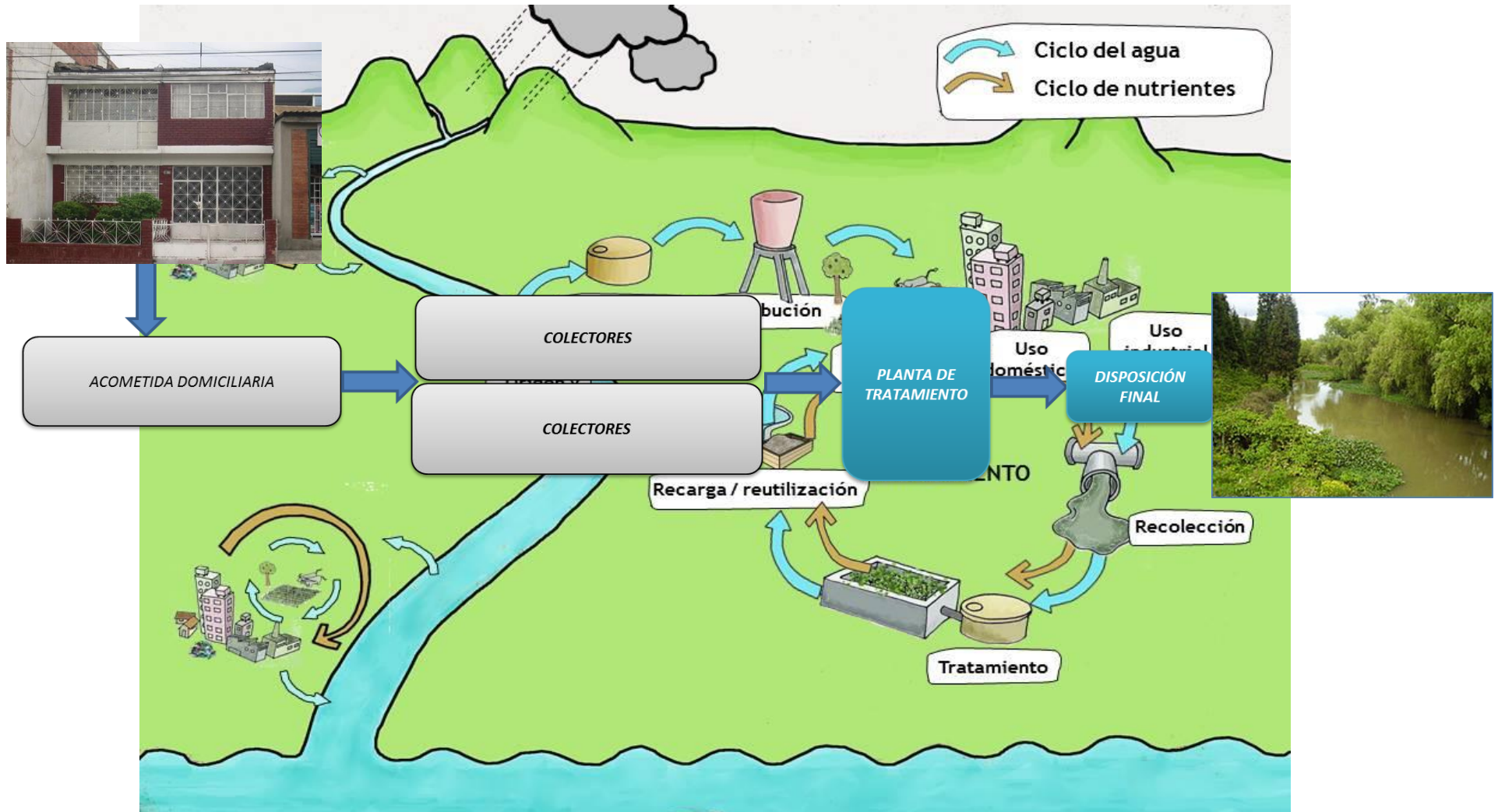


Figura 3-1. Ciclo de saneamiento -Fuente: *El ciclo de la Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible*. Fuente: SEECON (2010). Tomado de <http://www.sswm.info/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%C3%B3n-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-4>

### 3.4.1 Recolección

En el área urbana se hace fundamental realizar la recolección de aguas residuales provenientes de la población, además de cumplir con una necesidad básica sanitaria,

El sistema de alcantarillado se encuentra compuesto por una serie de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir, conducir, ventilar y evacuar las aguas residuales de la población. Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas que permiten la conducción de las aguas residuales desde su generación hasta su disposición final, se encuentran constituidas por diferentes estructuras la cual cada una cumple con una función específica.

Las redes de alcantarillado que recolectan las aguas llegan a una caja de registro, que sirve para inspeccionar el estado de las tuberías y el tipo de agua que se descarga, luego, de allí pasa a la red de tuberías que pasan por el frente de cada vivienda, llamadas red secundaria o de recolección.

A estas tuberías se le adiciona agua residual de otras viviendas o comercios, luego estas redes descargan en tuberías de mayor diámetro llamadas colectores, que finalmente son las que transportan el agua residual hasta la planta de tratamiento. (ambiental, 2015)

De no existir estas redes de recolección de agua, se pondría en grave peligro la salud de cualquier comunidad, debido al riesgo de exposición a enfermedades epidemiológicas, por además de presentarse importantes pérdidas materiales.

Entre las estructuras que componen el sistema de alcantarillado se encuentran las siguientes:

La acometida domiciliaria que se refiere a las conexiones provenientes de las viviendas a los colectores. (Rivero, 2013). Ver Figura 3-2.

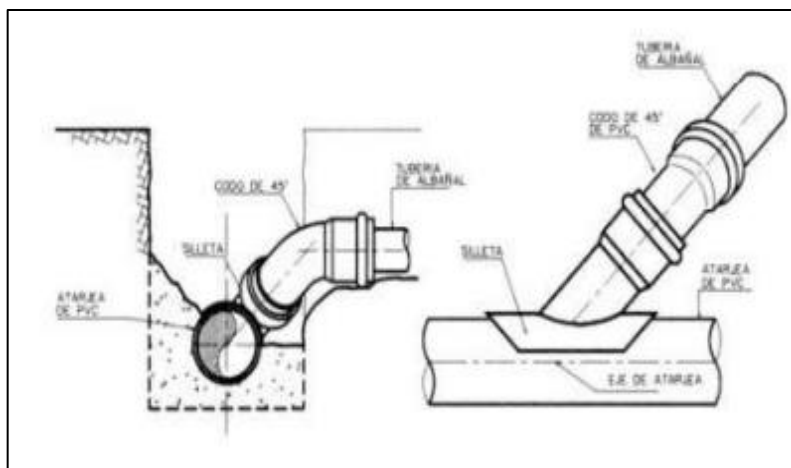
Colector.- Es la tubería que recoge las aguas residuales de las atarjeas. Puede terminar en un interceptor, en un emisor o en la planta de tratamiento. No es conveniente conectar los albañales (tuberías de 15 y 20 cm) directamente a un colector de diámetro mayor a

76 cm, debido a que un colector mayor a este diámetro generalmente va instalado profundo; en estos casos el diseño debe prever atarjeas paralelas “madrinas” a los colectores, en las que se conecten los albañales de esos diámetros, para luego conectarlas a un colector, mediante un pozo de visita. (ingenieria.uaslp.mx, 2011)

Existen dos clases de colectores que son los encargados de transportar el agua, en este grupo se encuentran los colectores primarios, los cuales son los encargados de coleccionar las aguas residuales generadas en el origen y los que proceden de colectores secundarios conduciendo el agua hasta la planta de tratamiento.

Los colectores secundarios corresponden a las tuberías que recolectan las aguas residuales generadas en su origen y las conducen a un colector principal, el cual conducirá finalmente estas aguas a la planta de tratamiento. (Rivero, 2013)

La atarjea, corresponde a una tubería que recoge las aguas residuales de las descargas domiciliarias para entregarlas al colector por medio de un pozo de visita.



**Figura 3-2. Descarga domiciliaria con tubería de PVC**

Fuente: ingeniería.uaslp.mx

### Brocal

Dispositivo sobre el que se asienta una tapa, que permite el acceso y cierre de un pozo de visita en su parte superior o a nivel de piso, el cual se apoya por fuera de la boca de acceso del pozo de visita. Ver Figura 3-3.



**Figura 3-3. Brocal**

Fuente: ingeniería.uasl.mx

### Tuberías

La tubería de alcantarillado se compone de tubos y conexiones acoplados mediante un sistema de unión hermético, el cual permite la conducción de las aguas residuales.

## **OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO**

Entre las estructuras que complementan un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o pluviales, se encuentran las estructuras de conexión, pozos de inspección, cámaras de caída, sumideros, aliviaderos, codos, curvas y reducciones, sifones invertidos, transiciones, canales y otras estructuras especiales. (UNAD, 2013).

### **Pozos de inspección**

La unión o conexión de dos o más tramos de colectores debe hacerse con estructuras hidráulicas, denominadas estructuras de conexión, usualmente, estas estructuras son pozos de unión, conexión o estructuras – pozo, las cuales se encuentran comunicadas con la superficie mediante pozos de inspección, los cuales permiten el acceso para la revisión, ventilación, limpieza y mantenimiento de la red. Ver

Figura 3-4.

El término pozo de inspección usualmente hace referencia al conjunto estructura de conexión-pozo de inspección. Por lo general, la forma de la estructura – pozo es cilíndrica en su parte inferior y de cono truncado en su parte superior, sus dimensiones deben ser suficientemente amplias para que el personal de operación y mantenimiento pueda ingresar y maniobrar en su interior, por lo tanto debe estar provista de un acceso con pasos de hierro y los elementos mínimos de seguridad industrial para los operarios. (UNAD, 2013).

También son llamados pozos de visita, se utilizan para la unión de dos o más tuberías y en todos los cambios de diámetro, dirección y pendiente, así como para las ampliaciones o reparaciones de las tuberías incidentes (de diferente material o tecnología.).



Figura 3-4. Pozos de inspección

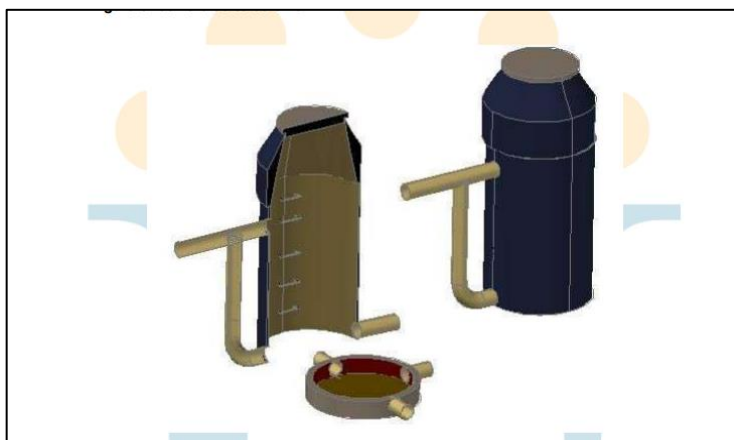
Fuente: (UNAD, 2013)

La cañuela o piso de la estructura es una plataforma, en la cual se hacen canales que prolongan los conductos y encauzan los flujos de agua flujos, cuando esto se requiera. La parte superior remata en una protección de su desembocadura a la superficie, donde se coloca la correspondiente tapa.

### **Cámara de caída**

Las cámaras de caída son estructuras de conexión frecuentes en terrenos con pendiente pronunciada, se utilizan para evitar velocidades mayores de las máximas permisibles. Todos los colectores que lleguen a una estructura de conexión, con una diferencia mayor

de 0.75 m con respecto a la batea del colector de salida, deben entregar al pozo mediante una cámara de caída, cuya boca inferior debe estar orientada en tal forma que el flujo confluya con un ángulo máximo de  $15^\circ$  con respecto a la dirección del flujo principal. Para colectores afluentes menores de 300 mm de diámetro puede analizarse la alternativa de no construir la cámara de caída pero proveer un colchón de agua en la parte inferior del pozo que amortigüe la caída. (UNAD, 2013). Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



**Figura 3-5. Cámaras de caída**

Fuente: (UNAD, 2013)

### **Aliviaderos**

Los aliviaderos en sistemas combinados de alcantarillado, tienen como objetivo disminuir los costos de conducción de los flujos de agua hasta el sitio de disposición final o de tratamiento de las aguas residuales. Estas estructuras derivan parte del caudal que se supone es de escorrentía pluvial a drenajes que usualmente son naturales o a almacenamientos temporales, aliviando así los caudales conducidos por colectores, interceptores o emisarios al sitio de disposición final, que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales.

En algunos casos están provistos de un tanque de almacenamiento a continuación del alivio con el propósito de almacenar los contaminantes provenientes del primer lavado



de la época de lluvias, el cual puede arrastrar concentraciones mayores de contaminación.

Los aliviaderos pueden ser laterales, transversales o de tipo vórtice, y deben permitir que el caudal de aguas residuales de tiempo seco continúe por el colector hasta la planta de tratamiento o lugar de disposición final, pero durante determinados eventos de precipitación y escorrentía asociada deben derivar o aliviar lo que les corresponda de aquella porción en exceso a la capacidad de la red aguas abajo o la capacidad de la planta de tratamiento

En cuanto a los sumideros y rejillas estos son estructuras para la captación de la escorrentía superficial, que pueden ser diseñadas en forma lateral o transversal al sentido del flujo, se localizan en vías vehiculares o peatonales. La capacidad de recolección de aguas lluvias del conjunto de sumideros de un sistema pluvial o combinado debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de colectores para garantizar que el caudal de diseño efectivamente llegue a la red de evacuación. (UNAD, 2013). Ver Figura 3-6



**Figura 3-6. Sumideros**

Fuente: (UNAD, 2013)

Los sumideros deben ubicarse en los cruces de las vías, de tal manera que intercepten las aguas antes de las zonas de tránsito de los peatones y en los puntos intermedios bajos.

Los siguientes son algunos criterios para su ubicación: 1. Puntos bajos y depresiones. 2. Reducción de pendiente longitudinal de las calles. 3. Antes de puentes y terraplenes. 4. Preferiblemente antes de los cruces de calles y pasos peatonales. 5. Captación de sedimentos (UNAD, 2013)

### **Sifón invertido**

Respecto a los sifones invertidos estos deben proyectarse en los casos en que sea necesario salvar accidentes topográficos o de otra índole, tales como obstáculos, conducciones o viaductos subterráneos, cursos de agua a través de valles, entre otros, que impidan la instalación de colectores en condiciones normales. Los sifones invertidos están conformados por dos o más tuberías, dependiendo del caudal de diseño que se requiera conducir. Estas tuberías deben constar de facilidad de limpieza. La velocidad mínima de flujo para el caso de alcantarillado sanitario debe ser 1 m/s y el diámetro mínimo debe ser 200 mm. Ver [Figura 3-7](#).

Para el sistema pluvial o combinado la velocidad mínima es 1,2 m/s y el diámetro mínimo de 300 mm. La velocidad mínima debe ser superior a la velocidad de auto limpieza determinada por esfuerzo cortante. Las entradas a los conductos auxiliares deben ser reguladas por vertederos, de tal forma que las tuberías puedan entrar en servicio progresivamente. (UNAD, 2013).



**Figura 3-7. Sifón Invertido**

Fuente: (UNAD, 2013)

Otra de las actividades que hacen parte de la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado, después de su recolección y transporte es la llegada a la planta de tratamiento de aguas residuales y de origen industrial producido por la población para su posterior tratamiento y disposición final.

### **3.5 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Según (TECSPAR, 2014), un sistema de tratamiento, constituye una combinación de procesos y operaciones unitarias que se escoge dependiendo de las características de las aguas y del objetivo que se desee cumplir con el tratamiento. Una vez el agua llega a la planta, comienza su respectivo tratamiento, con el fin de remover diferentes contaminantes y residuos presentes en el agua.

Entre los tratamientos que se utilizan en la planta de tratamiento se encuentran los siguientes:

#### **3.5.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR**

El pre tratamiento que se le realiza al agua consta de las fases que se describen a continuación:

Desbaste: el cual consiste en la remoción de los sólidos más gruesos que llegan a la planta, reteniéndolos mediante rejillas que impiden el paso de estos elementos.

Desarenado: esta actividad deposita las arenas en el fondo de la estructura por acción de gravedad.

Finalmente el desengrase el cual es un procedimiento que concentra en la superficie del agua las partículas en suspensión de baja densidad, especialmente aceites y grasas, con el fin de remover todas las grasas que se encuentran en este tipo de aguas. (Centro Virtual de Información del agua, 2004). Es importante que se realice la eliminación de

este indicador, puesto que puede causar daños a las estructuras debido a su viscosidad, dañando las rejillas (Castañeda, 2013).

En general el pretratamiento de aguas residuales implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento para su descarga a los receptores.

### 3.5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Corresponde a la serie de procesos de tipo físico y químico, los cuales tienen como objetivo primordial eliminar todo el contenido de sólidos presente en el agua. *“Los procesos de tipo físico son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos son usados para la eliminación de sustancias solubles, empleando para esto agentes químicos como floculantes y/o coagulantes que mejoran la separación de partículas”* (TECSPAR, 2014)

Las aguas residuales contienen gran cantidad de sólidos suspendidos de naturaleza orgánica e inorgánica, que son difíciles de remover solo por el proceso de sedimentación simple, teniendo en cuenta que los tiempos de detención son demasiados largos y por lo tanto imprácticos, por tal motivo es necesario utilizar en algunas ocasiones agentes químicos que ayuden en el proceso de sedimentación. El proceso de coagulación ha sido especialmente usado en aguas con gran contenido de color o altas concentraciones de coloides orgánicos. (Valencia, 2015)

*“Los tratamientos físico/químicos actúan sobre la base de que la coagulación y floculación debe ser asistida por agentes coagulantes que son adicionados para neutralizar cargas en el sistema y ayudan en el proceso de sedimentación, mientras que la floculación se realiza con polímeros orgánicos que se adsorben y actúan como puentes entre las partículas, con la finalidad de aumentar el coágulo formado y de este modo, mejorar la velocidad de precipitación de los sólidos contenidos en los efluentes”*,

entre los coagulantes que son utilizados para este proceso se encuentra Cloruro Férrico , sulfato de aluminio , cloruro de aluminio polimerizado.

También son utilizados otros floculantes orgánicos como son derivados de la celulosa, almidones cuaternarios, quitosan, taninos condensados. (TECSPAR, 2014).

Esta fase del tratamiento permite la reducción de los sólidos en suspensión y el acondicionamiento de las aguas para pasar a un tratamiento secundario.

### **3.5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Según (TECSPAR, 2014), este consiste en el proceso de degradación de la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales mediante la aplicación de procesos biológicos , en donde son utilizados bacterias que toman esta materia orgánica como nutriente , para remover la mayor cantidad de materia orgánica contaminante , teniendo como objetivo la reducción de la DBO5.

Los sistemas biológicos se dividen en biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o biofilm, ocupan menores superficies de instalación y son capaces de tratar elevadas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación. El tratamiento en las aguas residuales de carácter secundario se puede realizar aeróbica o anaeróbica

Lo que se refiere a los procesos aerobios se denominan como los mecanismos degradan la materia orgánica, las bacterias se alimentan de la materia orgánica en presencia de oxígeno. (Castañeda, 2013).

#### *3.53.1 Tratamiento aerobio*

El tratamiento biológico aerobio consiste en la descomposición de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos (presencia de oxígeno) en dióxido de carbono, moléculas de agua y biomasa microbiana. (Ramalho, 1996, 1995), citado (TECSPAR, 2014) por establecer que los sistemas aeróbicos implican el empleo de aireación en forma continua, debido a que la oxidación microbiana de la materia orgánica requiere de

un alto consumo de oxígeno (entre 30–100 mg O<sub>2</sub> /l·h, que además cumple la función de agitación del sistema, evitando la formación de zonas anóxicas y la disminución de la eficiencia de operación del sistema.

### 3.5.3.2 Tratamiento anaerobio

En este proceso biológico de aguas residuales, los organismos catabolizan sus alimentos en ausencia del oxígeno. (Castañeda, 2013)

*El tratamiento biológico anaeróbico, o digestión anaeróbica, consiste en una serie de reacciones bioquímicas que transforman la materia orgánica contaminante en biogás, cuyos componentes principales son el metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>, entre otros (H<sub>2</sub>S e H<sub>2</sub>).*

En esta fase de tratamiento crece la cantidad de microorganismos formando masas de lodos que deben ser separados del agua depurada, “para ello, el agua es conducida a otro decantador, esta vez secundario, donde los restos de materia orgánica en suspensión se depositan en el fondo. El agua superficial, más clarificada y depurada, vierte por el borde exterior del decantador, ésta contiene sólo entre el 5 y el 10% de la materia orgánica con la que entró”. (Centro Virtual de Información del agua, 2004).

## 3.6 MARCO CONCEPTUAL

Buenas prácticas ambientales

Las prácticas ambientales “se refiere al conjunto de acciones que pretender reducir el impacto ambiental de origen negativo, causado básicamente por los procesos productivos. (Linea verde, 2015).

De acuerdo con las BPA se definen como el conjunto de medidas, que se aplican en cualquier industria, o empresa permite mejorar su comportamiento ambiental (RIGOLA, 1998).

Las grandes empresas hoy en día es el que tiene que ver con los aspectos ambientales sociales y económicos es decir un desarrollo sostenible que integre estos tres factores y

hacen parte de una adecuada gestión al interior de las mismas, la implementación de mejores prácticas satisface la necesidad de los grupos de interés. Pues lo que se busca actualmente es que la competitividad sea sostenible (Jesus, 2009).

### Desarrollo sostenible

Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.<sup>4</sup> Producción más limpia: Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada y aplicada a los procesos, productos y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente.

### Impacto ambiental

Es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, en términos simple es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

### Subproducto

Producto que se obtiene a partir del principal y que tiene menor valor que este.

### Biosólidos

Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

### Estabilización de lodos

---

<sup>4</sup> Ley 99 de 1993

Proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final.

### Lodo

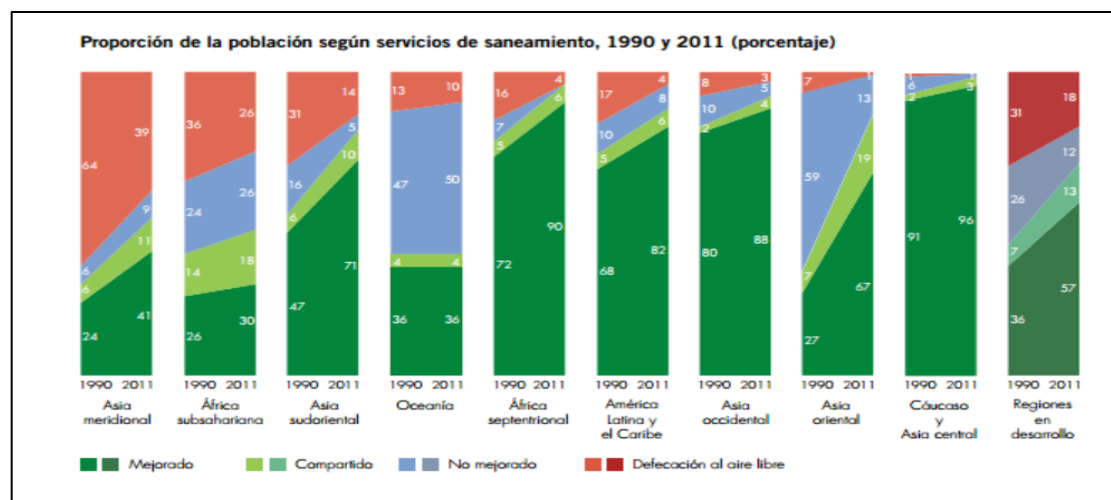
Suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales.

### Biogás

Mezcla constituida por metano ( $\text{CH}_4$ ) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre un 30% a un 60%, conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

## 3.7 Marco Contextual

Uno de los objetivos más importantes que establece los objetivos del milenio, corresponden a la prestación del saneamiento básico, por tal motivo en los últimos tiempos se han venido implementando en los países en desarrollo que han sido una gran éxito y han logrado un aumentos importantes en la cobertura de saneamiento. Ver Figura 3-8.



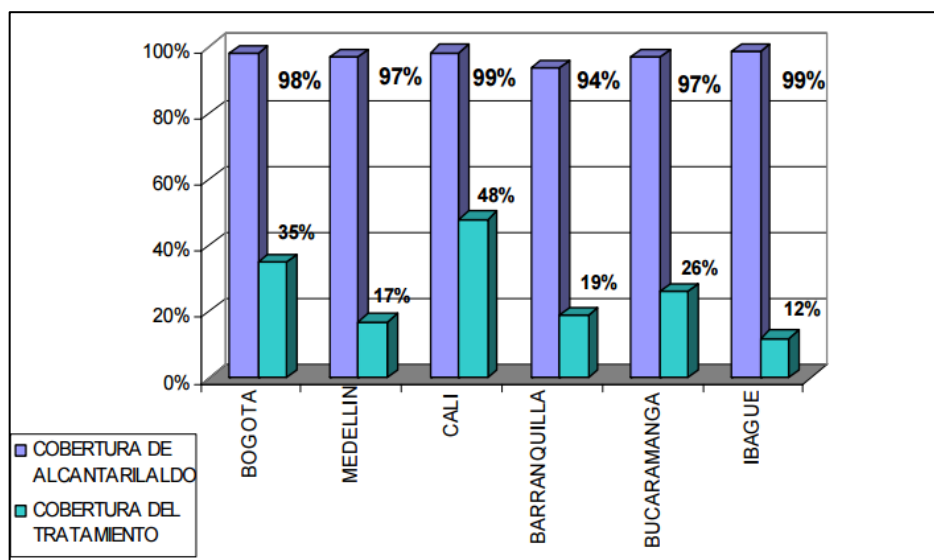


**Figura 3-8. Proporción de la población que cuenta con servicio de saneamiento básico**

Fuente: Objetivos del Milenio, 2013

Entre 1990 a 2011 hubo 1.900 millones de personas que lograron acceder a letrinas, inodoros u otras instalaciones sanitarias mejoradas. Se necesita redoblar los esfuerzos para agregar a ellos otros mil millones de personas de modo que en 2015 se cumpla con la meta de saneamiento. En 1990 poco menos de la mitad (49%) de la población mundial tenía acceso a saneamiento mejorado. La cobertura debe extenderse al 75% para cumplir con la meta. El nivel actual es del 64% (Unidas, 2013)

En Colombia la cobertura del servicio de alcantarillado en el año 2012 registraba aproximadamente el 75.3%, la cual se incrementó a 75.9% en el año 2013. Ver Figura 3-9.



**Figura 3-9. Coberturas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en Colombia**

Fuente: Censo Dane 2005

### 3.8 Marco Jurídico

La normativa técnica y ambiental básica mediante la cual se sustenta la elaboración del presente trabajo está conformada por leyes, decretos y resoluciones de carácter nacional y distrital que se presentan en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1.Legislación aplicable para las diferentes temáticas del proyecto**

NORMATIVA	TEMÁTICA	CONTENIDO
Ley 142 de 1994	Servicios públicos domiciliarios	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Constitución Política de Colombia de 1991	Medio Ambiente y Recursos Naturales	<u>Artículo 79</u> (Derecho a un ambiente sano); <u>Artículo 80</u> (Planificación por parte del Estado del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales)
Ley 629 de 2000	Protocolo de Kyoto	Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
Ley 9 de 1979	Aire, Agua y Suelo	Por la cual se dictan medidas sanitarias, aplicables a la protección del medio ambiente
Decreto – Ley 2811 de 1974	Recursos Naturales Renovables	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de la protección del medio ambiente
Ley 99 de 1993	Creación SINA y MMA, Fundamentos de la Política Ambiental en Colombia.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones
Decreto 1713 de 2002	Residuos sólidos	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público e aseo, y el Decreto – Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos.
Decreto 4741 de 2005	Residuos peligrosos	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en

NORMATIVA	TEMÁTICA	CONTENIDO
		el marco de la gestión integral.
Decreto 1594 de 1984	Residuos líquidos	Por el cual se establecen los usos del agua y residuos líquidos
Decreto 1287 de 2014	Biosólidos	"Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales",
Decreto 3930 de 2010	Agua	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título IV – Parte III – Libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, y se dictan otras disposiciones.  Establece las disposiciones relacionadas con usos y ordenamiento del recurso hídrico, así como vertimientos al recurso, suelos y alcantarillados
Resolución No 0631 de 2015	Agua	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistema de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La elaboración del presente proyecto, se sustenta en la recopilación de información secundaria de tipo bibliográfica y documental, la cual se utilizó para extraer específicamente la información relacionada con el tema y que permitió alcanzar cada uno de los objetivos específicos propuestos en el trabajo y la respuesta al problema planteado.

Los documentos fueron consultados en Internet de documentos técnicos, informes, artículos, páginas web relacionadas con el tema entre otros, para lo cual se realizó una exhaustiva búsqueda de fuentes bibliográficas que aportaran al desarrollo del trabajo.

Con la recopilación de información secundaria se realizó el posterior análisis de información consultada; identificando todo lo relacionado con el servicio público de alcantarillado y prácticas ambientales urbanas aplicadas en este sector.

#### **4. IDENTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS O PRODUCTOS EN LAS ETAPAS DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO**

El desarrollo de este capítulo está dirigido a establecer y describir cuáles son los subproductos generados durante cada etapa o actividad complementaria que comprende el servicio público de alcantarillado.

##### **4.1 Etapa de recolección y transporte**

Una de las etapas complementarias que presta el servicio público de alcantarillado, corresponde a la recolección de las aguas residuales, desde el sitio de generación (domicilio o empresa) en la zona urbana o municipal hasta la planta de tratamiento; donde a través de conexiones domiciliarias instaladas en cada vivienda; el agua residual proveniente de las actividades cotidianas de la población (sanitarios, duchas, lavaplatos y lavaderos); es recolectada y conducida mediante otras estructuras mayores como colectores primarios y secundarios hasta la respectiva planta de tratamiento.

Los residuos generados en esta etapa, corresponden principalmente a los hallados durante la fase de mantenimiento periódico de las estructuras encargadas de realizar esta función como son tuberías y colectores.

En primera instancia el sistema de alcantarillado puede presentar obstrucciones asociadas principalmente a objetos como botellas, plásticos, colchones, piedras, acumulaciones de arena, vidrios y hasta objetos de cocina como neveras o estufas; los cuales varían en tamaño y cantidad y sustancias que pueden generar acumulaciones de grasas; cabe anotar que gran parte de los residuos provienen de las viviendas, en donde en muchas ocasiones son arrojados objetos que agudizan este problema, un ejemplo de ello son las grasas y aceites dispuestas en el sistema de alcantarillado, las cuales se endurecen y forman tacos de sebo que finalmente crean obstrucciones.

Igualmente también puede presentarse acumulación de raíces, sobre todo en aquellas zonas con mayor incidencia de árboles, debido a que estas terminan llegando a las tuberías de conducción del agua.

Finalmente el sistema también puede verse obstruido por la presencia de arenas, piedras y sedimentos, principalmente en zonas de baja pendiente. Por tal motivo estos elementos deben ser retirados del sistema de alcantarillado, debido a que acumulados en grandes cantidades lo deterioran y constituyen un problema a corto tiempo afectando su funcionamiento.

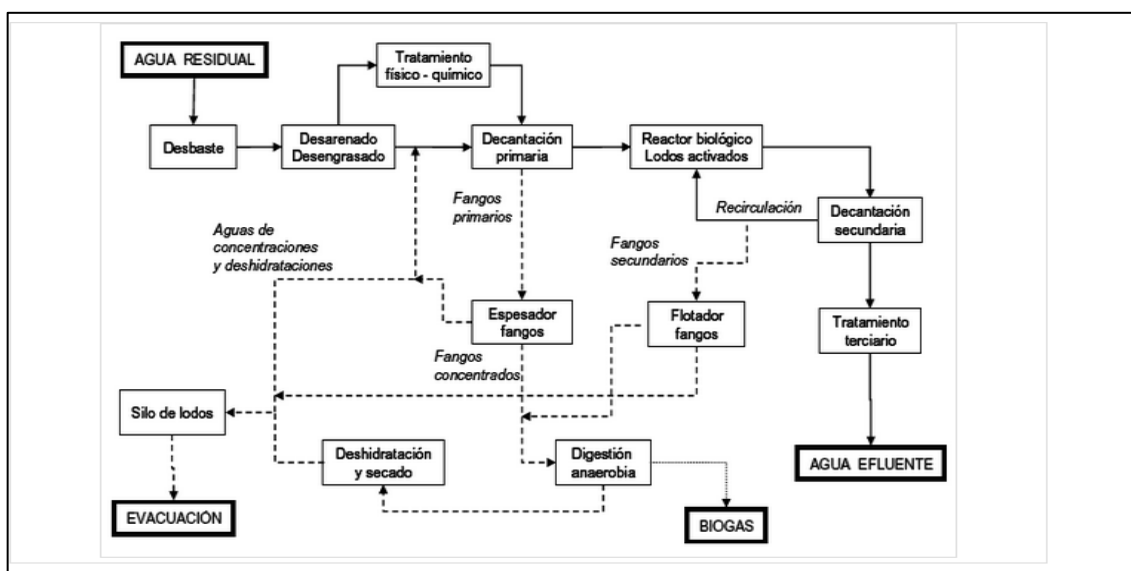
#### **4.2 Etapa de tratamiento de aguas residuales**

Esta etapa comprende el proceso de tratamiento, (preliminar, primario, secundario y terciario); el cual se realiza dependiendo de los contaminantes que desean removerse en el agua, y las características de la planta de tratamiento, para este estudio el trabajo se centra solo en las fases de tratamiento primario y secundario.

En primer lugar durante la fase de tratamiento primario se realizan diferentes actividades con el objetivo de remover diferentes sustancias de origen físico y químico, en esta etapa son utilizados productos químicos (coagulantes y floculantes), que como bien se nombró anteriormente sirven para facilitar la separación de partículas en el agua que corresponde a la remoción total de sólidos, además del material sobrenadante que son los aceites, ceras, ácidos grasos y jabones presentes en el agua.

Específicamente se remueven sólidos insolubles como arena y materiales como grasas, espuma y materia orgánica sedimentable.

Como parte de este proceso son generados lodos primarios a causa del proceso físico de asentamiento en el tanque de sedimentación, el agua es floculada y separada de la materia orgánica formada por los flocs, que se depositan en el fondo del agua. Adicionalmente también se extraen una serie de residuos sólidos como vidrio, madera, papel y diferentes objetos. En la Figura 4-1, se puede apreciar un esquema típico de aguas residuales.



**Figura 4-1. Esquema típico del tratamiento de aguas residuales**

Fuente: [www.miliarium.com](http://www.miliarium.com), 2011

En la fase de tratamiento secundario, pueden ser realizados procesos aerobios y/o anaerobios a las aguas residuales; para el caso del tratamiento biológico anaeróbico se produce también la transformación de la materia orgánica en biogás, el cual es otro subproducto generado a partir de esta fase, compuesto por metano monóxido de carbono, entre otros compuestos en menor proporción tal como se aprecia en la

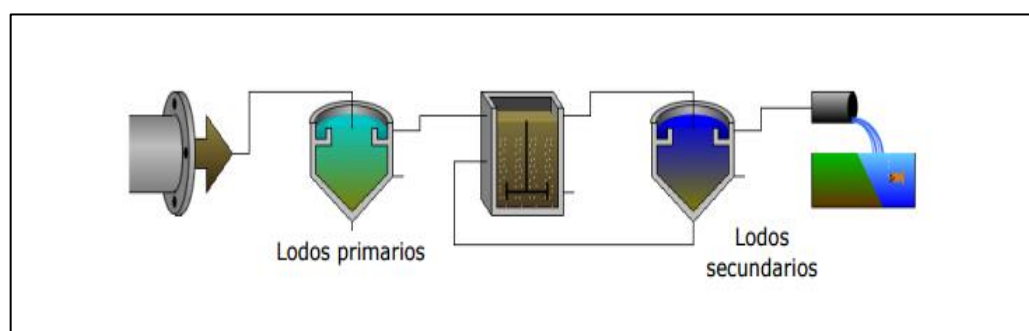
Tabla 4-1

Tabla 4-1. Composición del Biogás

Metano (CH <sub>4</sub> )	55 – 75%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 – 45%
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0,3%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	1 – 5%
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0 – 3%
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0,1 – 0,5%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	trazas

Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo, 2010

Tanto en la fase de tratamiento primario como secundario son producidos lodos, en la fase primaria los lodos provienen del proceso de sedimentación primaria, el cual depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención, lo que repercute en una mayor producción de lodos por la adición de productos químicos utilizados para que se produzca la precipitación química de la materia coloidal. (Limón, 2013).



**Figura 4-2. Producción de lodos primarios y secundarios**

Fuente: (Limón, 2013).

Específicamente en el tratamiento de aguas residuales los principales subproductos generados corresponden a residuos sólidos, lodos y biogás.

“Los lodos producidos en los procesos de tratamiento de aguas residuales corresponden a los siguientes:

Lodo primario proveniente de la sedimentación, lodo secundario proveniente del tratamiento biológico, lodos digeridos provenientes de los dos procesos anteriores, separados o mezclados, lodos provenientes de la coagulación y sedimentación y lodos provenientes de plantas de desarenadores y rejillas.” (UNAD, 2013). Ver Tabla 4-2.

**Tabla 4-2. Características de los lodos urbanos**

	<b>Unidad</b>	<b>Primarios</b>	<b>Secundarios (F.A.)</b>	<b>Digeridos (mezcla)</b>
SS (g/hab.d)	(g/hab.d)	30-36	18-29	31-40
Contenido de agua (%)	(%)	92-96	97,5-98	94-97
SSV (% SS)	(% SS)	70-80	80-90	55-65



	<b>Unidad</b>	<b>Primarios</b>	<b>Secundarios (F.A.)</b>	<b>Digeridos (mezcla)</b>
Grasas (% SS)	(% SS)	12-16	3-5	4-12
Proteínas (% SS)	(% SS)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (% SS)	(% SS)	8-10	6-8	5-8
PH	Unidad	5,5-6,5	6,5-7,5	6,8-7,6
Fósforo (P) (% SS)	(% SS)	0,5-1,5	1,5-2,5	0,5-1,5
Nitrógeno (N) (% SS)	(% SS)	2-5	1-6	3-7
Bacterias patógenas (Nº por 100 ml)	(Nº por 100 ml)	$10^3$ - $10^5$	100-100	10-100
Organismos parásitos (Nº por 100 ml)	(Nº por 100 ml)	8-12	1-30	1-3
Metales pesados (% SS) (Zn, Pb, Cu)	(% SS)	0,2-2	0,2-2	0,2-2
Cantidad de fango (l/hab.d)	(l/hab.d)	0,70	1,70	0,90

Fuente: (Eduardo, 2012)

Los lodos deben ser dispuestos adecuadamente con un previo tratamiento, pues de no ser así pueden convertirse en un gran contaminante para el medio ambiente.

#### 4.3 Disposición final de aguas residuales

Después de realizado el proceso de tratamiento en la planta, el agua residual tratada es conducida mediante hasta un cuerpo de agua receptor , que puede ser un río, lago, mar donde se realiza la disposición final, lo importante en esta fase es que el agua ya tratada sea vertida a estos cuerpos con menos carga contaminante a un nivel que la naturaleza pueda manejar y generar menos impacto sobre las comunidades acuáticas presentes en las fuentes receptoras .

En la Tabla 4-3, se presentan las etapas y la relación de subproductos o productos que se generan en relación con cada etapa.

**Tabla 4-3. Subproductos y productos generados en el sistema de alcantarillado**

<b>Etapas</b>	<b>Subproductos o productos generados</b>	<b>Descripción</b>
Recolección y transporte de aguas residuales	Objetos ( residuos ), grasas, plásticos, vidrios, arenas , piedras, raíces etc.	Se presentan principalmente en zonas donde se ha realizado un mal uso del alcantarillado
Tratamiento ( PTAR)	Lodos  Biogás	Tratamiento primario y secundario Tratamiento anaeróbico Secundario
Disposición final de agua residual	Agua residual tratada	Vertimiento al cuerpo de agua o suelo

Fuente. Elaboración autor

## **5. PRÁCTICAS AMBIENTALES EN EL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO**

En este capítulo se describen las prácticas ambientales utilizadas en el sector público de alcantarillado, a partir de la información consultada.

Previamente identificada cada una de las etapas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, así como los subproductos generados, se revisarán las prácticas ambientales utilizadas en el sector de alcantarillado, que para este trabajo se dividen en tres fases: mantenimiento, operación y usuarios.

### **5.1 BUENAS PRÁCTICAS EN EL MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO**

Una de las actividades fundamentales realizada durante la prestación del servicio de alcantarillado, corresponde al mantenimiento y limpieza de las redes del sistema como son colectores primarios, secundarios y demás estructuras que conforman las redes de recolección, a lo cual es vital realizar seguimiento y establecer las acciones pertinentes para garantizar el buen funcionamiento del sistema.

#### **Mantenimiento preventivo del sistema**

El mantenimiento preventivo de estructuras se debe realizar con el fin de determinar los sitios donde se presentan obstrucciones y fallas de las obras complementarias del sistema. Adicionalmente, este tipo de práctica, junto con la concientización de la ciudadanía, ayuda a prevenir inundaciones o colmataciones de los sistemas en épocas de invierno o en sucesos de lluvias torrenciales como ha sucedido en varias ocasiones en ciudades como Bogotá.

De acuerdo con la (EPA, 1999), uno de los primeros pasos para revisar un sistema de alcantarillado, corresponde a una correcta inspección, la cual puede realizarse de varias maneras como son, inspección visual, circuito cerrado de televisión CCTV y cámaras e inspección de tuberías por medio de lámparas.

Una de las técnicas más utilizadas actualmente corresponde al circuito cerrado de televisión, la cual es considerada una de las más eficientes en términos de costo y documentación interna del sistema se recomienda especialmente, para tuberías que presentan un diámetro de 0,1 a 1,2 m (4-48 pulgadas); como resultado de estas inspecciones se genera un video que puede ser utilizado como referencia futura. (EPA, 1999).

Para colectores de mayor diámetro separados por más de 300 m, se utilizan en su gran mayoría cámaras, en particular esta técnica requiere menos energía que el circuito cerrado de televisión.

También se encuentran las inspecciones de tipo visual, que se utilizan para tener una visión más detallada de la condición del sistema de alcantarillado e inspecciones que se deben realizar a los pozos de inspección y tuberías que incluyen las de superficie y las internas, en donde se inspeccionan los brocales, las tapas de los pozos de inspección y otras estructuras como son colectores grandes que son las partes donde se depositan las obstrucciones por objetos y sustancias en su gran mayoría.

### **Prácticas ambientales**

Con base en las técnicas de mantenimiento mencionadas y que son utilizadas en la mayoría de los sistemas de alcantarillado, es importante mencionar la limpieza de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, en donde se deben aplicar buenas prácticas ambientales, con el objetivo de reducir los volúmenes de agua empleados para esta actividad.

Para el caso de la limpieza con chorro a presión de las tuberías grandes, se recomienda limitar la cantidad de agua a utilizar durante esta actividad, ya que de no ser así se requeriría un gasto muy alto de agua.

Otra forma de realizar la limpieza sería reutilizar el agua residual ya tratada para este fin, así como mantener frecuencias de limpieza del sistema y establecer tiempos.

Los residuos retirados de las obstrucciones deberán ser clasificados, como los provenientes por acumulaciones de grasas, aceites y sedimentos, se consideran dentro de los peligrosos y estos deben ser debidamente gestionados y dispuestos en rellenos autorizados para realizar su disposición.

En el caso de los residuos como plástico, vidrios, papeles, colchones etc. deberán transportarse hasta el relleno sanitario; nunca deberán disponerse en los sitios aledaños de donde son retirados pues pueden causar alteraciones importantes en el ambiente, por tal motivo deben ser trasladados a sitios autorizados donde realicen su adecuada disposición de acuerdo con la normatividad vigente.

## **5.2 BUENAS PRÁCTICAS EN LA OPERACIÓN**

Durante el tratamiento de aguas residuales se generan lodos y biogás como subproductos resultantes del tratamiento, los cuales requieren un adecuado manejo, que puede ser mediante la aplicación de buenas prácticas ambientales.

En el tratamiento de agua residual, se pueden reconocer diferentes estrategias que han sido puestas en marcha para la gestión de estos subproductos o residuos, en cada etapa nombrada. En primera instancia se encuentra la fase de tratamiento primario y secundario en donde se genera el lodo el cual puede ser gestionado para su reutilización en varias actividades.

Antes de su disposición final el lodo debe someterse a cambios en sus propiedades químicas y físicas por medio de un tratamiento (espesamiento, estabilización y acondicionamiento), para hacerlo más apto a las opciones de eliminación que sean elegidas y ambientalmente más seguras.

En primer el espesamiento corresponde a un proceso físico en donde se tiene como fin el incremento de la cantidad de lodos mediante la eliminación de un gran porcentaje del agua presente en el lodo, algunos de los métodos más utilizados son por flotación y gravedad. (Manual de Depuración de aguas residuales urbanas , 2008).

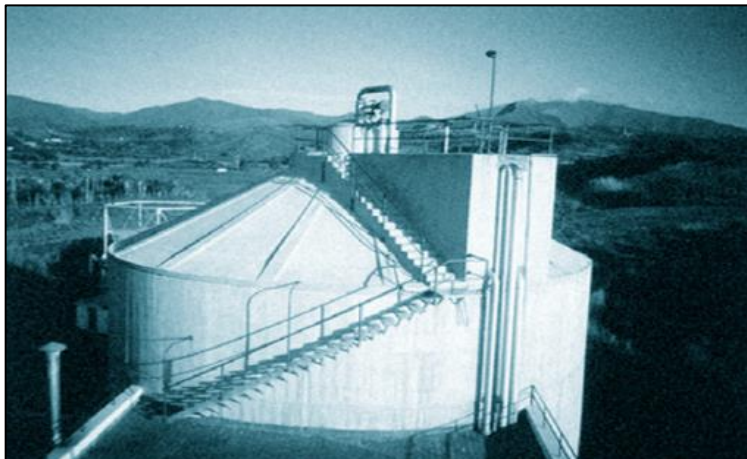


**Figura 5-1. Espesadores de lodo por gravedad y por flotación**

Fuente: Manual de aguas residuales urbanas, 2008

Seguida a esta fase se encuentra la estabilización que consiste en la reducción de la fracción biodegradable del lodo para evitar su putrefacción, esta puede ser realizada mediante proceso aerobio o anaerobio, aquí se elimina entre el 40 y 50 % de materia orgánica presente en el lodo, también se puede realizar mediante la elevación del pH por adición de cal y tratamiento térmico, siendo estas tres alternativas las opciones utilizadas para la estabilización de los lodos aplicables en plantas de tratamiento que cuenten con la respectiva infraestructura y equipos necesarios para ponerlas en práctica. Ver Figura 5-2.

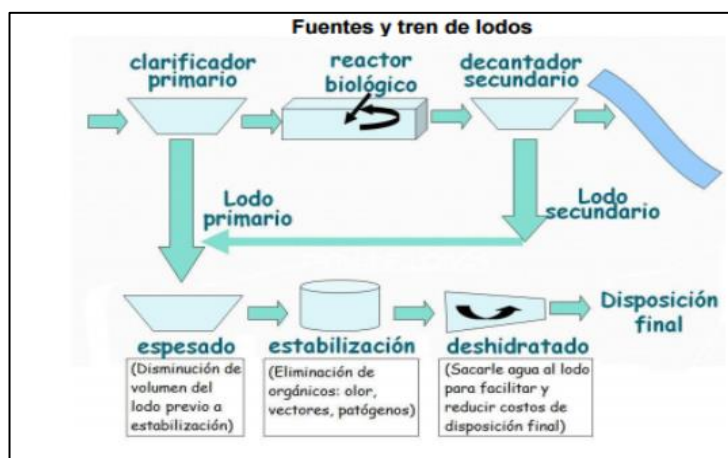
De igual forma con la estabilización también reduce la cantidad de organismos patógenos y el volumen del lodo, así como disminuye el olor, por lo tanto esta técnica hace que el transporte de los lodos sea más seguro y más económico.



**Figura 5-2 Digestor Anaerobio para la estabilización de lodos**

Fuente: Manual de aguas residuales urbanas, 2008

El acondicionamiento del lodo se realiza mediante la adición de productos químicos, mejorando la deshidratación y gran parte del agua presente en el lodo. Finalmente se realiza la deshidratación en donde ya es eliminada la totalidad del agua contenida en el lodo transformándolo en sólidos que se pueden manejar y transportar con mayor facilidad. Ver Figura 5-3



**Figura 5-3. Esquema tratamiento de lodos**

Fuente: MDL en plantas de tratamiento, 2010

Otra forma más económica de estabilizar los lodos, es mediante la adición de cal ya que reduce los costos y simplicidad en la operación. Esta técnica reduce olores y microorganismos patógenos, y aumento de la sequedad del lodo, además puede ser utilizada en pequeñas plantas de tratamiento que no cuenten con la infraestructura suficiente para realizar las operaciones de tratamiento de los lodos descritas anteriormente.

De esta forma esta técnica reduce el uso del lodo final, a solo actividades agrícolas, principalmente como abono cálcico de calidad para suelos ácidos. (Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 2007)

Después de la estabilización, espesamiento y acondicionamiento final de los lodos, se obtiene un producto resultante llamado biosólido; que por sus características físicas, químicas y microbiológicas puede ser evaluado para determinar sus posibles usos o adecuada disposición final.<sup>5</sup>

El biosólido puede ser utilizado en varias alternativas dependiendo de su clasificación, el Decreto 1278 de 2014, los clasifica en clase tipo A (que son por lo general de buena calidad con menos cantidad de microorganismos patógenos) y tipo B, que se caracterizan por tener más cantidad de microorganismos patógenos, por tal motivo presenta mayores restricciones en su uso.

Es así como los biosólidos que se clasifican dentro de la categoría A, pueden ser reutilizados en las siguientes actividades:

- En zonas verdes de sitios tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.

---

<sup>5</sup> Decreto 1287 de 2014



- Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- En la agricultura puede ser utilizado, así como en campos de pastoreo, bosques, o en terrenos alterados que necesiten recuperación.
- En el suelo, ayudan positivamente en sus condiciones, mejorando sus características, que favorecen el crecimiento de las raíces

Los biosólidos que se encuentran en la categoría B, pueden ser utilizados en actividades como:

- Recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados
- En agricultura, se aplicará al suelo
- En plantaciones forestales

Otro usos que se le puede dar a este subproducto, corresponde a la aplicación en suelos para acelerar la restauración ecológica en terrenos que hayan sido degradados a causa de incendios forestales y para rellenar huecos formados por bancos de materiales, acelerando su restauración paisajística y permitiendo su uso posterior.

Otro uso es como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos con previo tratamiento que modifiquen su calidad original, tal como se explicó anteriormente.

Este subproducto también puede ser utilizado como insumo en la fabricación de materiales de construcción, estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial, secundaria o terciaria.

En la operación de rellenos sanitarios como: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.

En general estos lodos pueden ser utilizados en distintas actividades, las cuales igual requieren un control dependiendo del tipo de tratamiento y las características finales de los lodos generados en la planta.

Los materiales inorgánicos a partir de lodos se pueden utilizar como materiales de construcción. Esto no sólo puede complementar el material de construcción, sino que también constituye la oportunidad para la eliminación segura de los lodos. (Board, 2012)

Si la concentración de cloruro es baja, el lodo químico puede ser utilizado en el cemento, este subproducto solidificado se puede complementar con cemento, cenizas y cal y puede ser utilizado en las actividades relacionadas con la construcción por ejemplo, tejas y bloques de pavimento. (Board, 2012).

De otra parte cabe destacar el uso de los lodos como fertilizantes de cultivo, acondicionador de suelos, si la concentración de micro-contaminantes no es prohibida por la normatividad y no implica riesgos para la salud. Los lodos presentan un gran potencial en la restauración de tierras agrícolas y en la silvicultura tiene un gran potencial. Sin embargo, existe la necesidad de identificar y eliminar las fuentes contaminantes para mejorar la calidad de lodos, sólo entonces se debe utilizar los lodos como abono, material de cubierta, el suelo l suelo y la construcción. (Board, 2012).

El lodo también puede ser reciclado para hacer productos destinados a la venta en el mercado, como producción de compost, bio-suelos, electricidad, entre otros.

## BIOGAS

Otro de los subproductos que se obtienen durante la digestión anaeróbica de los lodos es el biogás.

Una buena práctica ambiental la constituye el uso de este subproducto como fuente de energía, debido a que es un gas que presenta alto porcentaje de metano ( $\text{CH}_4$ ) gas de efecto invernadero, el cual no es recomendable su emisión a la atmosfera.

Por tal motivo se considera que al promover su aprovechamiento energético, se reduce el consumo de energía y por consiguiente se evitan emisiones contaminantes.

Actualmente en las plantas de tratamiento donde se realiza tratamiento secundario, la generación de biogás puede llegar a constituir varios beneficios ambientales en cuanto al reuso de este subproducto como son:

- Fuente de energía renovable que puede llegar a sustituir el uso de combustibles fósiles
- Transforma un subproducto en una fuente de ingresos
- Reduce los gases de efecto invernadero (Initiative, 2013)
- Combustible para un motor o generador de vehículos

Otra buena práctica lo constituye la quema del metano producido en la planta, debido a que este se transforma en CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), lo cual reduce significativamente su potencial contaminante.

Este proceso transcurre en ausencia de oxígeno, y el metano CH<sub>4</sub> tiene la particularidad de ser recuperado y usado como combustible (energía) en el mismo proceso para calentar la caldera, debido a que los microorganismos anaeróbicos realizan esta digestión a una temperatura entre 30-37°C (Metcalf y Eddy, 1995).

### **Reutilización de las aguas residuales tratadas**

De acuerdo al tratamiento que se realice a las aguas residuales, estas pueden ser reutilizadas para actividades como la agricultura, acuicultura, plantaciones de árboles y adicionalmente para realizar el riego de jardines y parques públicos, de esta manera se reducirían grandes volúmenes de agua, ahorrando de esta forma el recurso hídrico. (Overview, 2010)

Sin embargo las aguas que sean reutilizadas, deben cumplir con la normatividad requerida en cuanto a la concentración de microorganismos de acuerdo como sea estipulado en el país que se aplique.

De este modo las aguas residuales para la agricultura, deben cumplir por lo menos con un tratamiento secundario en donde las concentraciones de DBO5 y Sólidos deben ser < 20 mg/L y <30 mg / L respectivamente. Asimismo las concentraciones de Coliformes totales no podrán superar los 1000 NMP/ml. (Overview, 2010).

Las aguas residuales tratadas también pueden ser reutilizadas para la industria. Los requerimientos de la industria para la calidad del agua varían ampliamente, desde agua muy pura para ser reutilizada en las calderas de generación de electricidad hasta un agua de menor calidad para las torres de enfriamiento.

Otra opción es reutilizar el efluente final para reemplazar el uso del agua potable para el lavado de los tanques y aplicaciones relacionados con la planta de tratamiento, esta práctica se implementa generalmente cuando la calidad del efluente final es bueno, de modo tal que su uso no lo hará obstaculizar el funcionamiento de bombas, mangueras y boquillas utilizadas en su distribución. ((SAIC), 2006).

La práctica también es rentable cuando se requieren grandes volúmenes de agua de lavado, como para las instalaciones.

El Decreto 3930 de 2010<sup>6</sup>; en su artículo 63, establece que se debe adoptar un plan de tecnologías limpias en gestión de vertimientos, el cual por lo menos deberá contener la recirculación y reuso del agua final del agua residual.

---

<sup>6</sup> Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

## **Tecnologías en el tratamiento**

Todas las tecnologías que sean utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales contribuyen de manera positiva o negativa sobre el medio ambiente y el manejo de los subproductos resultantes.

De tal forma, que de acuerdo con la tecnología utilizada, los resultados se ven reflejados en distintos beneficios, como son:

- Proteger el medio ambiente
- Tecnologías menos contaminantes
- Utilizan los recursos de manera sostenible
- Reciclan más sus desechos y productos

Manejan todos los desechos residuales en forma más aceptable para el medio ambiente

Se debe considerar también que aunque la tecnología seleccionada para la digestión de los lodos es válida la aeróbica es más económica que la anaeróbica pues esta es más costosa; sin embargo un sistema anaeróbico produce biogás para la producción de energía y puede ayudar a compensar los costos por energía de la planta de tratamiento. (Board, 2012).

Otra buena práctica en cuanto a la tecnología se refiere, suele ser mejorar las operaciones y aumentar la capacidad del tratamiento orgánico de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales para un rendimiento óptimo de la planta.

En la planta de tratamiento la mezcla de los biosólidos es una tarea intensiva en energía que debería ser abordado en la digestión aeróbica, la mezcla se proporciona generalmente por aireación, mezclado mecánico, bombeo o una combinación de estos tres métodos, se requiere aireación de la masa de los biosólidos con el fin de destruir los sólidos volátiles y realizar el control de olores.

En la planta se considera una buena práctica ambiental, el control de los olores generados en donde como medidas se deben considerar las siguientes, con el objetivo de reducirlo:

Se deben mantener siempre los canales y tanques a menudo cubiertos para evitar la dispersión de olores en la planta y su área de influencia. Adicionalmente se deben verificar y comprobar los niveles de sulfuro de hidrógeno en los gases depurados.

### **5.3 BUENAS PRÁCTICAS DE LOS USUARIOS**

En las viviendas la comunidad, puede implementar la aplicación de buenas prácticas ambientales, con el fin de reducir la cantidad de sustancias contaminantes lanzadas al sistema de alcantarillado como son:

Evitar arrojar sustancias como aceites de cocina, aceites vegetales, aceites utilizados en el mantenimiento de los vehículos, objetos como toallas, papel, u otros elementos que obstruyan las tuberías.

Otra opción es implementar una trampa de grasas que es adecuada para separar las grasas y residuos sólidos que provienen de las pocetas de lavado, tienen como objetivo interceptar la mayor parte de grasas y sólidos antes de que se introduzcan en el sistema de alcantarillado con el fin de reducir obstrucciones por la presencia de estos objetos. Se considera que la reutilización del agua en la vivienda, también es una forma de contribuir a reducir los volúmenes de agua a tratar.

De acuerdo con lo anterior en la Figura 5-4 se presenta un cuadro resumen de las prácticas ambientales utilizadas durante la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado (mantenimiento, operación y usuarios).

ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>Limpieza del Sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitar la cantidad de agua a utilizar durante la limpieza con chorro a presión de las tuberías grandes.</li> <li>• Mantener frecuencias de limpieza del sistema y establecer tiempos</li> </ul> Reutilización del agua residual
	<b>Manejo de Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los residuos retirados de las obstrucciones deberán ser clasificados de acuerdo con su tipo, en el caso de los residuos por acumulaciones de grasas, aceites y sedimentos, se consideran dentro de los peligrosos, estos deben ser debidamente gestionados y dispuestos en rellenos autorizados para realizar su disposición final.</li> <li>• En el caso de los residuos como (plástico, vidrios, papeles, colchones etc. deberán transportarse hasta el relleno, nunca deberán disponerse en los sitios aledaños de donde son retirados, por tal motivo deben ser trasladados a sitios autorizados donde realicen su adecuada disposición de acuerdo con la normatividad vigente.</li> </ul>

ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
<b>OPERACIÓN</b>	<b>Manejo de lodos</b>	Tratamiento de lodos -biosólidos reutilización en actividades como:
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas verdes</li> </ul>

ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura , así como en campos de pastoreo, bosques, o en terrenos alterados que necesiten recuperación</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el suelo, ayudan positivamente en sus condiciones, mejorando sus características, que favorecen el crecimiento de las raíces.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionadores de suelos</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación de materiales de construcción, estabilización de taludes de proyectos de la red vial</li> <li>• Operación de rellenos sanitarios como: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.</li> </ul>
	Generación de Biogás.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de este subproducto como fuente de energía.</li> <li>• Quema del biogás</li> <li>• Utilización del 100% del biogás producido</li> <li>• Promover su aprovechamiento energético se reduce el consumo de energía y por consiguiente se evitan emisiones contaminantes al aire.</li> <li>• Fuente de energía renovable que puede llegar a sustituir el uso de combustibles fósiles</li> <li>• Combustible para un motor o generador de vehículos</li> </ul>



ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL

ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
<b>OPERACIÓN</b>	<b>Tecnología apropiada.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar para la digestión de los lodos una tecnología, teniendo en cuenta costos y que sea ecológicamente más limpia.</li> <li>• Considerar aspectos económicos, ambientales y sociales.</li> <li>• Tecnología aeróbica es más económica, que la tecnología anaeróbica más costosa pero produce biogás para la producción de energía y puede ayudar a compensar los costos por energía de la planta de tratamiento.</li> </ul>
	<b>Control de los olores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener siempre los canales y tanques a menudo cubiertos para evitar la dispersión de olores en la planta y su área de influencia.</li> <li>• Comprobar los niveles de sulfuro de hidrógeno en los gases depurados en la planta de tratamiento.</li> </ul>
	Manejo de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso de agua residual en agricultura, plantaciones de árboles, riego de jardines y parques públicos.</li> <li>• Para el lavado de los tanques y aplicaciones relacionados con la planta de tratamiento.</li> </ul>

ETAPA	ACTIVIDAD	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
USUARIOS	Conservar buenos hábitos en la vivienda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar arrojar sustancias como aceites de cocina, aceites vegetales, aceites utilizados en el mantenimiento de los vehículos, objetos como toallas, papel, u otros elementos que obstruyan las tuberías del sistema de tratamiento.</li> </ul>

**Figura 5-4. BPA en el sistema de alcantarillado**

Fuente: Elaboración autor

## 6. DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS AMBIENTALES EN EL CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL

A continuación se presentan los resultados referidos a la aplicación de buenas prácticas ambientales utilizadas en la prestación del servicio público domiciliario de alcantarillado en municipios colombianos y experiencias internacionales.

### 6.1 EXPERIENCIAS NACIONALES

En primer lugar en Colombia son varios los municipios que han realizado la aplicación de prácticas ambientales dirigidas a este sector, por medio de las empresas prestadoras del servicio.

Tal es el caso de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la cual es la encargada de realizar mantenimiento y rehabilitación de colectores e interceptores y demás estructuras hidráulicas que conforman el sistema en varias localidades de la ciudad y realiza la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre.

#### 6.1.1 PTAR EL SALITRE

La planta el Salitre se encuentra en funcionamiento desde el año 2000 y atiende aproximadamente 2.200.000 habitantes. (EAB, 2015). Los datos se presentan en la

Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Datos Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre

Tipo de tratamiento	Primario avanzado químicamente asistido
Caudales de operación de la planta:	Medio: 4.0 m <sup>3</sup> /s Máximo: 9.9 m <sup>3</sup> /s
Eficiencia en remoción (Según Licencia Ambiental)	SST: 60%, DBO5: 40%
Estabilización de lodos:	Tratamiento anaeróbico
Generación de biogás	13500 m <sup>3</sup> /d

Generación de biosólidos:	165 ton/d.
---------------------------	------------

Fuente: EAB-2015

Esta planta realiza la aplicación de prácticas ambientales en la etapa de tratamiento, mediante la estabilización y aprovechamiento de los lodos provenientes de las aguas residuales para la generación de biogás.

El biogás de la PTAR es reutilizado para la agitación de los tres digestores de la planta, en esta parte el biogás es recirculado en el centro del digestor. (EAB, 2015). Adicionalmente este gas también es utilizado para la alimentación de las calderas de la planta que conforman el sistema de calentamiento.

Asimismo el agua proveniente de la fase de espesamiento y deshidratación de lodos es recirculada hacia un puesto de elevación donde son recogidas todas las aguas para ser nuevamente reutilizadas.

De igual manera el lodo generado a partir de la floculación de la materia orgánica es tratado mediante digestores, para finalmente obtener el biosólido, el cual es utilizado en actividades para aplicación en el suelo como nutriente.

**Tabla 6-2. BPA- PTAR el Salitre**

<b>BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Generación de biogás</li> <li>– Reutilización de biogás para la agitación de los digestores de la planta el cual es recirculado en el centro del digestor. Adicionalmente este gas también es utilizado para la alimentación de las calderas de la planta que conforman el sistema de calentamiento.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Generación de biosólidos</li> <li>– Aplicación como nutriente del suelo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recirculación del agua de la fase de espesamiento y deshidratación de lodos hacia un puesto de elevación, donde se recogen todas las aguas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proyectos de mecanismos de desarrollo limpio (MDL), entre ellos los de las aguas residuales que se recolectan y transportan por el sistema de alcantarillado de la ciudad, aprovechando la generación del metano.</li> </ul>

Fuente: [www.acueducto.com.co](http://www.acueducto.com.co)

Aproximadamente desde el año 2003, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, se encuentra participando en proyectos de Desarrollo Limpio (MDL), entre ellos la recolección y transporte de las aguas residuales de la ciudad, aprovechando la generación del metano.

En este sentido también se aprovecha la generación de metano generado en el predio Gibraltar, donde actualmente se disponen los lodos del mantenimiento del sistema de alcantarillado, todos estos proyectos con el fin de mitigar y aprovechar esta sustancia. (Bogotá E. d., 2003).

#### *Distrito de riego la Ramada*

El reúso de aguas residuales lo podemos ver con el distrito de riego y drenaje la Ramada, el cual se encuentra localizado en el costado oriental de la Sabana limita por el occidente con el Río Subacho que el cual lo separa del distrito de Bojacá; al norte con la vía La Mesa Funza y las ciénagas de Tres Esquinas y Gualí, y al oriente y el sur con el río Bogotá

Este distrito presenta una extensión aproximada de 6.500 Has, con un área neta para explotación agropecuaria de 5500 Has, la captación es aguas arriba del humedal Juan Amarillo, con una capacidad de 5,6 m<sup>3</sup>/s. (Urbanos, 2015)

De acuerdo con (Gradex, 1996) citado por (Jorge Silva, 2008), en Colombia son utilizadas las aguas residuales crudas o parcialmente tratadas, para distintas actividades de riego de cultivos, tal es el caso de la Ramada donde se riegan actualmente 3.500 ha de cultivos de distintas clases como son hortalizas, flores y pastos, con un caudal de 1.5 m<sup>3</sup> de agua bombeada del río Bogotá que pasan a través de humedales como forma de tratamiento de estas aguas, (Urbanos, 2015).

De acuerdo con el documento del (BID) y con la (EAB, 2015), se tiene contemplado la ampliación de este distrito de riego, proyectando hacia el año 2025, la reutilización de las aguas residuales de la PTAR el Salitre, con fines agropecuarios, la cual sería una

decisión que se ejecutaría si es aprobada por varios actores que intervienen en el proyecto como son autoridades ambientales, usuarios del distrito de riego y gobierno.

### 6.1.2 PTAR SAN FERNANDO

La planta de tratamiento de San Fernando, localizada en el municipio de Itagüí y administrada por Empresas Públicas de Medellín (EPPM), entró en operación aproximadamente en el año 2000, las aguas residuales son tratadas mediante tratamiento primario y secundario. Ver Tabla 6-3

**Tabla 6-3. Datos planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando**

Tipo de tratamiento	Secundario por medio de lodos activados
Caudal promedio de diseño	1.8 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo	1.3 m <sup>3</sup> /s
Estabilización de lodos:	lodos activados
Generación de biogás	30%
Generación de biosólidos:	90 ton/día

Entre las buenas prácticas aplicadas en la planta se encuentran las siguientes:

A partir de la digestión anaerobia de los lodos se obtiene aproximadamente el 30% de la energía eléctrica de la total que demanda la planta de tratamiento.

En cuanto a los biosólidos se generan 90 toneladas diarias, los cuales son utilizados en suelos.(EPM, 2010)



**Figura 6-1. Esquema PTAR San Fernando**

Fuente: EPPM, 2015

**Tabla 6-4. BPA-Planta San Fernando**

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	
1	Generación de energía a partir de la digestión anaerobia de los lodos.
2	Reutilización de Biogás en la planta de tratamiento de agua residual.
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Generación de biosólidos</li> <li>– Aplicación al suelo como nutriente.</li> </ul>	

Fuente: EPPM, 2015

## 6.3 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

### 6.3.1 PTAR ATOTONILCO, TULA, MÉXICO.

Dentro de las experiencias internacionales, en donde se pueden evidenciar la aplicación de buenas prácticas ambientales, se encuentra la que ha realizado el país de México con la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco Hidalgo, la cual tiene una capacidad para tratar aproximadamente 35 m<sup>3</sup>/sg, Ver datos en la Tabla 6-5 y Figura 6-2

**Tabla 6-5. Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco**

Tipo de tratamiento	Pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario (desinfección)
Caudal promedio de diseño	35 m³/s
tratamiento de lodos	Espesado, estabilización y deshidratación

**Figura 6-2. Esquema de Planta de tratamiento Atotonilco**

Fuente: <http://www.acciona-agua.es/actividades/aguaresidual/edar-atotonilco.aspx>

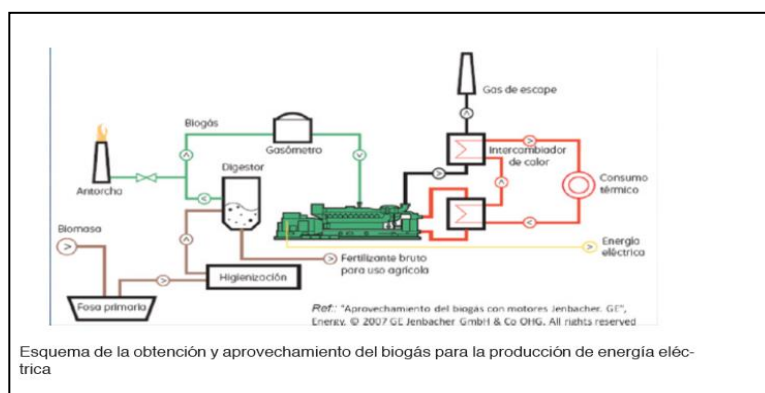
Entre las actividades que realiza la planta y que se pueden definir como buenas prácticas ambientales se encuentra las siguientes:

Reutilización del agua residual tratada en la agricultura (conservando los nutrientes de las aguas residuales pero eliminando los contaminantes).

Generación de energía a partir del biogás para satisfacer la demanda de electricidad de la planta, permitiendo un notable ahorro económico. Ver Figura 6-3.

Disminución de emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera.





**Figura 6-3. Obtención y aprovechamiento del biogás para la producción de energía eléctrica**

Utilización del contenido energético de los lodos, para convertir el gas metano en energía eléctrica.

Tratamiento de lodos, los cuales se disponen en un monorelleno sanitario, para su reutilización en la restauración de suelos y en distintas actividades agrícolas de la zona, contribuyendo así al mejoramiento del suelo.

De esta manera, este proyecto también contribuye a la mitigación del cambio climático, pues el saneamiento de las aguas residuales disminuye los gases de efecto invernadero, dejando de emitir aproximadamente 145 mil toneladas de dióxido de carbono.

**Tabla 6-6. BPA-PTAR Atotonilco**

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso de agua residual en la agricultura (conservando los nutrientes de las aguas residuales pero eliminando los contaminantes).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de energía a partir del contenido energético de los lodos para satisfacer la demanda de la electricidad de la planta eléctrica, permitiendo un notable ahorro económico.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de lodos en un Monorrelleno Sanitario</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilización de lodos en restauración de suelos y distintas actividades agrícolas de la zona contribuyendo así a un mejoramiento del suelo</li> </ul>

- El Proyecto es considerado como un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), susceptible de obtener Certificados de Reducción de Emisiones, que son canjeables por Bonos de Carbono.

Fuente: (CONAGUA, 2011)

### 6.3.2 Singapur

Singapur se caracteriza por presentar periodos abundantes de lluvias, altas temperaturas y humedad, asimismo presenta una alta densidad de población, las enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con facilidad y rapidez a menos que se mantenga un nivel alto de salud pública.

Este país reconoce la importancia de contar con una adecuada recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales domésticas e industriales para evitar la contaminación de cursos de aguas, embalses, ríos y el mar, evitando así la propagación de enfermedades y satisfaciendo las demandas ambientales asociadas con el continuo crecimiento económico y demográfico,

Actualmente cuenta con una infraestructura que cubre el 100% del servicio básico saneamiento, una de las problemáticas que afronta es la escasez de agua debido principalmente a la cantidad limitada de superficie terrestre donde puede almacenar agua lluvia. El país además de importar agua, ha hecho un intento decidido para proteger sus fuentes de agua (tanto en términos de cantidad y de calidad sobre una base a largo plazo), teniendo como metas ampliar sus fuentes de acceso por la desalación y la reutilización de aguas residuales y pluviales.

Singapur a través de buenas prácticas en la tecnología y prácticas Newater, se encuentra complementando su suministro de agua a través de la recogida, tratamiento y reutilización de aguas residuales. Esta agua regenerada, se conoce como "Newater" - aguas regeneradas de alta calidad producidas a partir de agua tratada utilizada que se

purifica aún más con el uso de tecnologías avanzadas de membrana, haciendo que el agua salga ultra limpia.

NEwater actualmente cumple con los estándares de calidad del agua de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud y en general el nivel de aceptación por parte de la población es alto.

El país actualmente cuenta con una conexión de alcantarillado del 100%, la totalidad de las aguas residuales generadas en el país son recogidas y tratadas, estas aguas residuales se recuperan después de un tratamiento secundario por medio de productos de doble membrana de avanzada y technologies11 ultravioleta.

En 2001, las obras de tratamiento de aguas residuales fueron renombradas como plantas de regeneración de agua (WRPS) para enfatizar su nuevo rol no sólo de tratamiento de aguas usadas, sino también para recuperar el agua para uso no potable.

NEWater es utilizada en el país para fines industriales y comerciales, a pesar de que el agua es de la calidad del agua potable. El costo de producir NEWater es significativamente menor que el coste del agua desalada. Se espera que para el 2011, el 15% de las necesidades de agua del país sean suplidas por NEWater, con más industrias que utilizan NEWater, agua ahorrada que también se utiliza para fines domésticos.

El sistema de alcantarillado actual, se encuentra diseñado sobre la base de un " sistema independiente " por el cual el agua se recoge por separado en una red de alcantarillas subterráneas que las conduce a una planta de tratamiento, mientras que las aguas pluviales y de escorrentía superficial se recogen en los desagües abiertos y canalizados a los ríos y embalses, esto reduce la cantidad de contaminación que llega a los cursos de agua y ayuda a asegurar que la calidad del agua aprovechada de las cuencas sea de buena calidad.

**Tabla 6-7. BPA-PTAR SINGAPUR**

<b>BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilización de aguas residuales, las cuales se purifican con el uso de tecnologías avanzadas</li> </ul>

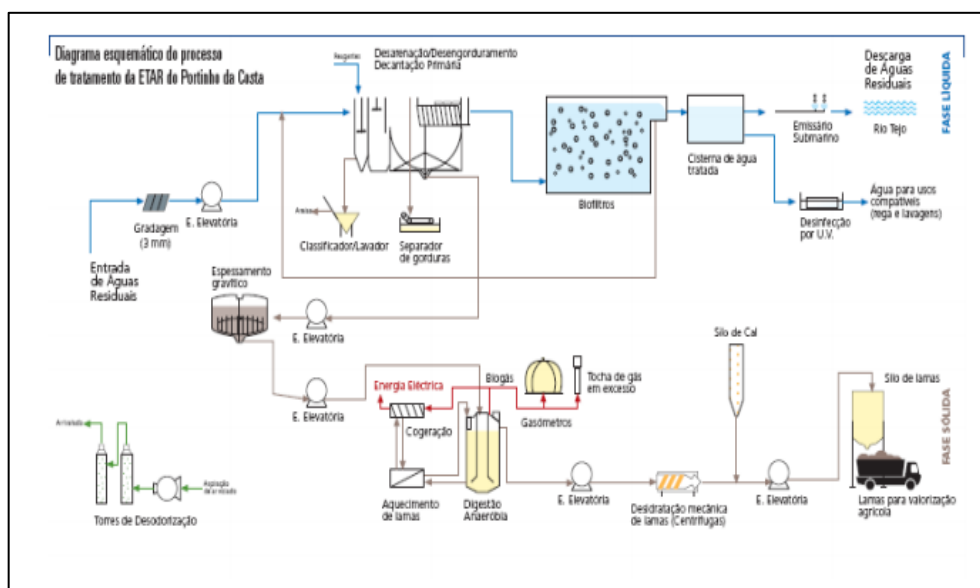
de membrana, haciendo que el agua salga ultra limpia.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El agua residual regenerada se utiliza para fines industriales y comerciales, a pesar de que el agua es de la calidad del agua potable.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recogida de aguas residuales y pluviales en un sistema separado</li> </ul>

### 6.3.3 PTAR- PORTINHO DA COSTA-PORTUGAL

En el municipio de Almada ubicado en el país de Portugal, se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales (Portinho da Costa), con un sistema de cogeneración para la producción de electricidad y calor, esta planta cubre aproximadamente el 24% del tratamiento de aguas residuales en el municipio de Almada, los lodos de la planta son utilizados para la producción de biogás, el cual es utilizado en un sistema de cogeneración para la producción de electricidad y calor, gracias a este sistema de cogeneración, el consumo de gas natural y energía eléctrica se ha reducido en un 67%, lo que equivale a una reducción de 2000 Mwh al año.

En el plano medioambiental, el uso de esta tecnología ha reducido emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) en un 38%, es decir 687 toneladas. Esta planta de tratamiento de aguas cuenta con las mejores y más avanzadas tecnologías y tiene una alta eficiencia de tratamiento (el porcentaje de eliminación de sustancia orgánica es del 96%).

El biogás utilizado lo obtienen mediante la digestión anaeróbica de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, con la construcción de esta planta, el municipio consigue tratar el 100% de las aguas residuales sin incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero. (Carlos Pistonesi, 2010). Ver Figura 6-4.



**Figura 6-4. Esquema del proceso planta de tratamiento de aguas de PORTINHO DA COSTA**

Fuente: (Carlos Pistonesi, 2010)

Después de comparar varias experiencias a nivel nacional e internacional en el marco de las buenas prácticas ambientales, se puede evidenciar que existen algunas prácticas que pueden ser aplicadas dependiendo de variables, como son recursos, población, infraestructura (tipo de planta de tratamiento de las aguas residuales), localización entre otras.

Es decir, teniendo en cuenta que aunque estas son prácticas sencillas, su aplicación depende mucho de factores como los anteriormente nombrados, especialmente en la etapa de tratamiento.

Para el caso de municipios pequeños, en donde las plantas de tratamiento no cuentan con una infraestructura apropiada debido a la falta de recursos e infraestructura, se pueden aplicar buenas prácticas ambientales, las cuales pueden variar dependiendo de los subproductos y productos generados de acuerdo con las condiciones de la planta, en este caso las acciones en cuanto al manejo de los lodos que resulta ser más económica debido a que reduce costos y simplicidad en la operación, son las siguientes:

La aplicación con cal para la estabilización de lodos, es una buena técnica que permite reducir olores, microorganismos patógenos, y aumento de la sequedad del lodo, además

puede ser utilizada en pequeñas plantas de tratamiento que no cuenten con la infraestructura suficiente para realizar las operaciones de tratamiento de lodos.

Aunque esta técnica reduce el uso del lodo final, solo a actividades agrícolas, principalmente como abono cálcico de calidad para suelos ácidos, resulta ser eficiente en pequeños municipios para su reutilización. (Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 2007)

Un factor importante es la cantidad y calidad de lodos generada, los cuales deben ser tratados. Se les puede dar un tratamiento específico o ser confinados en rellenos sanitarios, aunque lo ideal es su reutilización.

Independientemente de la fase de tratamiento estos municipios pueden realizar la aplicación de buenas prácticas en la fase de mantenimiento y por parte de los usuarios del sistema.

Adicionalmente en sistemas de alcantarillado con una población mediana, también se pueden aplicar prácticas ambientales dirigidas al mantenimiento y usuarios, pero se recomienda que en la fase de tratamiento las prácticas difieran un poco de la tecnología utilizada, sin embargo se pueden establecer acciones para el adecuado manejo de lodos, control de olores y reúso de agua.

En general la aplicación de buenas prácticas puede implementarse en cualquier municipio, en unos con mayores resultados que en otros, sin embargo se considera que con una adecuada planificación e interés por parte de las empresas prestadoras y usuarios del sistema, se pueden gestionar de una manera más eficiente los subproductos o residuos generados durante la prestación del servicio.

## 7. CONCLUSIONES

A través del análisis realizado a cada una de las etapas que conforman el servicio público de alcantarillado, se logró identificar que en la etapa de tratamiento es donde se generan los principales subproductos que corresponden a lodos y biogás, los cuales se convierten en un aspecto importante para la aplicación de mejores prácticas ambientales.

De acuerdo con la información recopilada que actualmente generan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado, no se permite identificar información específica relacionada con las prácticas ambientales utilizadas durante la etapa de recolección y transporte de las aguas residuales.

En cuanto a las prácticas ambientales utilizadas en el contexto internacional, se considera que estas podrían ser replicadas en municipios nacionales, con el fin de mejorar en cuanto a características y selección de mejores tecnologías que permitan un alto impacto en la reducción de costos y mayores beneficios ambientales en el entorno.

También es importante mencionar que las prácticas ambientales identificadas pueden ser aplicadas en un cualquier sistema de alcantarillado primordialmente en la fase de recolección y conducción de las aguas residuales, sin excluir, considerando que las prácticas pueden variar en la fase de tratamiento, donde ya intervienen aspectos más que todo económicos, tecnología de tratamiento, población e infraestructura.

No obstante es importante establecer un análisis integral que contemple aspectos tanto sociales como ambientales, estableciendo si es posible un análisis costo beneficio dirigido a la selección y aplicación de prácticas ambientales a implementar durante la prestación del servicio de alcantarillado.

Adicionalmente el establecer estos aspectos permitirá conocer que tanto me cuesta o no realizar una buena práctica ambiental, es decir que beneficios trae consigo y que perjuicios trae el no realizarla en el entorno social, económico y ambiental.

En general las buenas prácticas ambientales son actividades que resultan ser en algunas ocasiones muy obvias y sencillas, sin embargo en muchas ocasiones no se conocen ni se aplican correctamente, y esto conlleva a la generación de impactos negativos los cuales pueden prevenirse mediante su aplicación.

Se considera que mediante la gestión del biogás producido por las plantas de tratamiento, el cual puede ser utilizado como fuente de energía renovable, se pueden realizar proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), con el fin de reducir emisiones contaminantes al ambiente, tal como vienen aplicando distintas plantas de tratamiento.

Finalmente las buenas prácticas ambientales aplicadas en cualquier sector, pueden considerarse un elemento de gestión ambiental urbana, pues permiten planear, implementar y actuar, facilitando los medios para una mejor gestión integral de recursos.

### **Recomendaciones**

Se recomienda tener mayor atención en cuanto a las fases de recolección y transporte de las aguas residuales en las empresas prestadoras del servicio, para la aplicación de prácticas ambientales.

Es importante realizar mayor capacitación a la comunidad y actores involucrados, sobre las prácticas ambientales a utilizar en este sector; con el fin de incentivar su aplicación desde los usuarios hasta el personal involucrado en la prestación del servicio público de alcantarillado.

Vale la pena analizar desde las empresas prestadores de servicios públicos, prácticas dirigidas a la recolección y transporte de las aguas pluviales por medio de sistemas de recolección que permitan separar las aguas residuales de las aguas lluvia, tal como lo recomienda el RAS 2000, con el objetivo de reutilizar en su totalidad las aguas de este tipo que sean almacenadas.



Actualmente la normativa colombiana a través del Decreto 3930 de 2010, que derogó el Decreto 1594 de 1984, en su numeral 62, establece que los generadores de vertimientos podrán optar por la elaboración de un plan de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos, el cual sería muy importante implementar ya que promueve importantes aspectos para reducir los impactos a causa de la generación de vertimientos, gestión de subproductos y reuso del agua residual, entre otros aspectos.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ALCANTARILLADO, E. D. (2015). *ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal/!ut/p/c5/hY7LDolwEEW\\_hSYofQBS1QEEqBqo1I2pDEEMTxcGBP-XogbN8jM8tx7ZqCAaXvzbmrzaobetJBDwUvXVqkSEUEpyA5jPwhc7tANPdGJa15uQz-ilkGU5IJIMqaOeFYOxs5K-zrf-0mEbO9hLJmXyDS0EdmX\\_\\_PPHBfGR8iioavgvGLRHuQcNBRi8Vthg26r2txGeHY5](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal/!ut/p/c5/hY7LDolwEEW_hSYofQBS1QEEqBqo1I2pDEEMTxcGBP-XogbN8jM8tx7ZqCAaXvzbmrzaobetJBDwUvXVqkSEUEpyA5jPwhc7tANPdGJa15uQz-ilkGU5IJIMqaOeFYOxs5K-zrf-0mEbO9hLJmXyDS0EdmX__PPHBfGR8iioavgvGLRHuQcNBRi8Vthg26r2txGeHY5)
- ambiental, M. (2015). *mejoramientoambiental.com*. Recuperado el Abril de 2015, de <http://www.mejoramientoambiental.com/educacion-ambiental/que-es-un-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>
- BID. (2006). Recuperado el 25 de Junio de 2015, de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=861723>
- Board, C. P. (2012). Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de [http://www.cpcb.nic.in/Report\\_CETP\\_GGP.pdf](http://www.cpcb.nic.in/Report_CETP_GGP.pdf)
- Bogotá, A. a. (s.f.). *www.acueducto.com.co*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá: [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/conc\\_antesvisita.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/conc_antesvisita.pdf)
- Bogotá, E. d. (2003). Recuperado el 11 de Junio de 2015, de Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá: <http://www.acueducto.com.co/>
- Carlos Pistonesi, J. L. (11 de Octubre de 2010). Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia\\_aguas\\_residuales/energia\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia_aguas_residuales/energia_aguas_residuales.pdf)
- Castañeda, R. (5 de Diciembre de 2013). *Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 6 de Abril de 2015, de <http://es.slideshare.net/raulcc1950/tratamiento-aerobico-y-anaerobico-de-aguas-residuales>
- Centro Virtual de Información del agua. (2004). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de [http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2809:fases-del-proceso-de-depuracion-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales&catid=51:tratamiento-de-aguas&Itemid=84](http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=2809:fases-del-proceso-de-depuracion-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales&catid=51:tratamiento-de-aguas&Itemid=84)
- Clasificación de aguas negras. (2003). Recuperado el 25 de Abril de 2015, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/Capitulo2.pdf>
- CONAGUA. (2011). Recuperado el 13 de Marzo de 2015, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-19-11.pdf>
- Criterios y Lineamientos Técnicos para factibilidades -Alcantarillado Sanitario*. (2010). Recuperado el 20 de Abril de 2015, de [www.siapa.gob.mx: http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_3.\\_alcantarillado\\_sanitario.pdf](http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf)

- Cubillos, A. (s.f.). <http://www.bvsde.paho.org>. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
- Cundinamarca, C. d. (s.f.). *Sevicio público de alcantarillado*. Recuperado el abril de 2015, de [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion\\_digital/Agua\\_Servicio\\_Publico/Servicio\\_Publico\\_Alcantarillado-Contraloria\\_Cundi.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Agua_Servicio_Publico/Servicio_Publico_Alcantarillado-Contraloria_Cundi.pdf)
- DANE. (2011). [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co). Obtenido de [https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&es\\_th=1&ie=UTF-8#q=historia+de+los+servicios+publicos+domiciliarios%2Bpdf](https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&es_th=1&ie=UTF-8#q=historia+de+los+servicios+publicos+domiciliarios%2Bpdf)
- EAB. (26 de Mayo de 2015). *Acueducto de Bogotá*. Obtenido de [www.acueducto.com.co/.../PTAR/AguasylosodosDesctecnicatratamiento.do](http://www.acueducto.com.co/.../PTAR/AguasylosodosDesctecnicatratamiento.do).
- Eduardo, T. (2012). Reutilización de lodos y aguas residuales. En E. Torres. Recuperado el 14 de Junio de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>
- EPA. (Septiembre de 1999). Recuperado el 10 de 05 de 2015, de [http://www.water.epa.gov/scitech/wastetech/.../2003\\_07\\_30\\_mtb\\_cs-99-031.pdf](http://www.water.epa.gov/scitech/wastetech/.../2003_07_30_mtb_cs-99-031.pdf)
- EPM. (10 de Junio de 2010). Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <https://www.epm.com.co/site/Portals/0/Institucional/Preguntas%20frecuentes.pdf>
- EPM. (2010). *EPM.COM.CO*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de [http://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/proveedores\\_y\\_contratistas/normas\\_y\\_especificaciones/manuales/52220-1Manual\\_Referenciacion07\\_09\\_2010.pdf](http://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/manuales/52220-1Manual_Referenciacion07_09_2010.pdf)
- EPM, A. N.-G. (s.f.). Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <https://www.epm.com.co/site/Portals/0/Institucional/Preguntas%20frecuentes.pdf>
- Gradex. (1996).
- Ingenieria Civil*. (2010). Recuperado el 25 de Abril de 2015, de *Ingenieria Civil-Proyectos y apuntes teórico-prácticos de Ingeniera Civil*: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/07/clasificacion-de-las-aguas-residuales.html>
- ingenieria.uaslp.mx*. (2011). Recuperado el 26 de Abril de 2015, de [http://ingenieria.uaslp.mx/AreaCivil/\\_Resources/files/Presentacion\\_Normas\\_y\\_conceptos\\_de\\_drenaje.pdf](http://ingenieria.uaslp.mx/AreaCivil/_Resources/files/Presentacion_Normas_y_conceptos_de_drenaje.pdf)
- Iniative, G. M. (Enero de 2013). Recuperado el 30 de Mayo de 2015, de [https://www.globalmethane.org/documents/ww\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/ww_fs_spa.pdf)
- Jesus, D. B. (2009).
- Jorge Silva, P. T. (10 de Julio de 2008). *Universidad Nacional*. Obtenido de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13521/14204>
- Limón, J. G. (08 de Julio de 2013). Recuperado el 28 de Abril de 2015, de [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf)
- Linea verde. (2015). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://www.lineaverdeceutatrache.com/lv/guias-buenas-practicas->

ambientales/introduccion-buenas-practicas-ambientales/que-es-el-consumo-responsable.asp

Manual de Depuración de aguas residuales urbanas . (2008). Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Overview, I. (2 de February de 2010). Recuperado el 7 de Mayo de 2015, de <http://iwlearn.net/iw-projects/3766>

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. (2007). Recuperado el 17 de Abril de 2015, de [http://anfcal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Usos\\_Ecologicos/Tratamiento\\_de\\_Lodos/E\\_STABILIZACION\\_CON\\_CAL\\_DE\\_LODOS\\_PROVENIENTES\\_DE\\_PLANTAS\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES.pdf](http://anfcal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Lodos/E_STABILIZACION_CON_CAL_DE_LODOS_PROVENIENTES_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES.pdf)

Ramalho, M. y. (1996, 1995).

Rivero, E. N. (16 de Julio de 2013). *slideshare.net*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de <http://es.slideshare.net/PasantesUEP/estacha-nohely-rivero-redes-de-distribucion-de-agua-potable-24535492>

(SAIC). (December de 2006). Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de [http://dnr.wi.gov/aid/documents/eif/focusonenergy\\_waterandwastewater\\_guidebook.pdf](http://dnr.wi.gov/aid/documents/eif/focusonenergy_waterandwastewater_guidebook.pdf)

TECSPAR. (2014). Recuperado el 3 de Abril de 2015, de <http://www.unescosost.org/wp-content/uploads/2014/04/Manual-de-Tecnologias-Sostenibles-en-Tratamiento-de-Aguas.pdf>

UNAD. (2013). *datateca.unad.edu.co*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Modulo\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Modulo_2013.pdf)

Unidas, N. (2013). Recuperado el 30 de Mayo de 2015, de <http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/mdg-report-2013-spanish.pdf>

Urbanos, I. d. (5 de Junio de 2015). *Bogotá en Datos*. Obtenido de <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/011211843.htm>

Valencia, G. (2015). *bvsde.paho.org*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/010439/010439-05.pdf>